

# **Maanvaraisen teräsbetonilaatan mitoitus**

Antti Poutiainen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Poutiainen, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 29.4.2016
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Maanvaraisen teräsbetoni­laatan mitoitus</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jukka Konttinen		
Toimeksiantaja(t) Ramboll Finland Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin maanvaraisen teräsbetoni­laatan mitoitus­ta Eurokoodin mukaan. Työn pääasiallisena lähteenä käytettiin BY45/BLY7 Betonilattiat 2014 -julkaisua, joka on ai­noa suomalainen maanvaraisen teräsbetoni­laatan mitoitus­keen keskittynyt teos. Mitoitus esitetään käyttäen tankorau­doitusta ja kutistumissaumoja. Työssä ei käsitelty kuituraudoit­teisia eikä kutistumissaumattomia laattoja. Tavoitteena oli tehdä maanvaraisen teräsbeto­nilaatan mitoitus­keen selkeä ohje, jonka avulla laatan mitoittaminen käsin helpottuu ja no­peutuu. Lisäksi tavoitteena oli luoda taulukko, josta voidaan nopeasti nähdä erilaisten laa­tojen pistekuorman kestävyys. Työn toimeksiantajana toimi Ramboll Finland Oy.</p> <p>Teoriaosiossa kerrotaan maanvaraisen teräsbetoni­laatan suunnittelusta. Siinä perehdytään erityisesti mitoitus­keen perusteisiin ja siihen liittyviin käsitteisiin. Niiden avulla luodaan pohja mitoitus­keen eri vaiheiden ymmärtämiselle. Osiossa esitetään myös erilaisia taulukko­arvoja, joita voidaan tarvita mitoitus­keen eri vaiheissa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi mitoitusohje, joka käy koko mitoitus­prosessin läpi kohta kohdalta. Ohje etenee loogisessa järjestyksessä, ja siinä on kerrottu, mitä lasketaan ja millä kaavoilla. Laskennasta tehtiin kaksi esimerkkilaskua liitteeksi. Ohjeen lisäksi tehtiin lasken­ta­taulukko Excel-ohjelmaa käyttäen, joka mitoittaa laatan annettujen lähtöarvojen perus­teella. Lopuksi syntyi taulukko, johon on lueteltuna eri paksuisia laattoja erilaisilla rau­doi­tusverkoilla, ja niiden sallima maksimikuorma.</p> <p>Johtopäätöksenä oli, että maanvaraisen teräsbetoni­laatan tarkka mitoittaminen käsin on melko vaikeaa laskennan monien epävarmuustekijöiden vuoksi. Käsin laskentaa voidaan käyttää vain hyvin yksinkertaisissa kuormitustapauksissa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )		
Betoni, teräsbetoni­laatta, maanvarainen, mitoitus		
Muut tiedot		

Author(s) Poutiainen, Antti	Type of publication Bachelor's thesis	Date 29.4.2016
	Number of pages 68	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Designing of reinforced slab-on-grade</b>		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Konttinen, Jukka		
Assigned by Ramboll Finland Oy		
<p>Abstract</p> <p>The design of reinforced slab-on-grade was studied based on Eurocode. The main source for this thesis was the publication named BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, which is the only Finnish publication focused on designing reinforced slab-on-grade. The design is presented by using rebars and shrinking joint. Neither fiber reinforced nor shrinking jointless slabs were covered in this thesis. The aim was to make an explicit instruction for designing reinforced slab-on-grade to make manual slab design easier and faster. Additionally, the aim was to create a table, where the slab's durability for different nodal forces can be quickly determined. This thesis was assigned by Ramboll Finland Oy.</p> <p>The theoretical part focuses on the design of reinforced slab-on-grade and in particular on the basics and concepts of designing. The fundamentals for understanding the phases of designing is created with the help of these facts. This part also presents different kinds of table values which can be needed in the different phases of designing.</p> <p>The result of the thesis is an instruction for designing which goes through the whole designing process step by step. The instruction proceeds in a logical sequence, and it has been stated what to calculate and which formula to use. Two calculation examples were made as appendices. The calculation table was made in addition to the designing instruction by using Excel software to design the slab according to known starting values. Finally, a table listing the slabs by different thickness and rebars, and also showing the maximum load they withstand was created.</p> <p>The final conclusion was that designing reinforced slab-on-grade accurately manually is quite challenging due to the uncertainties of the design. Designing manually can only be used in very simple cases of loads.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )		
Concrete, reinforced concrete slab, on-grade, design		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Työn lähtökohdat .....	5
2	Maanvaraisen teräsbetonilaatan suunnittelu .....	6
2.1	Lattioiden kuormat .....	6
2.2	Laatan kutistuma ja lämpötilojen muutokset .....	8
2.3	Lämpötila- ja kutistumiserot .....	9
2.4	Kitkavoimat .....	11
2.5	Halkeilu .....	13
2.6	Laatan saumat .....	15
2.6.1	Erilaiset saumatyypit .....	15
2.6.2	Saumajako .....	17
3	Laatan mitoituksen periaatteet .....	19
3.1	Yleisiä periaatteita maanvaraisen laatan mitoitukseen .....	19
3.2	Alustan ominaisuudet .....	21
	Kantavuusmoduuli E .....	21
	Alustaluku k .....	22
3.3	Rauditusperiaate .....	24
3.4	Mitoittavat laattaan kohdistuvat voimat .....	27
4	Laatan mitoituksen kulku Eurokoodin mukaan .....	32
4.1	Lähtötiedot .....	32
4.2	Alustaluvun määrittäminen .....	33
4.3	Maksimimomenttien laskenta .....	33
4.4	Kitkavoima .....	37
4.5	Laatan mitoitus murtorajatilassa .....	39
4.6	Laatan mitoitus käyttörajatilassa .....	40
4.7	Laatan lävistyskapasiteetin laskenta .....	43
5	Johtopäätökset .....	46

5.1 Tulokset .....	46
5.2 Pohdinta .....	48
Lähteet.....	52
Liitteet .....	54
Liite 1. Esimerkkilaskelma .....	54
Liite 2. Excel-mitoitustaulukko.....	64
Liite 3. Pistekuormataulukko .....	68

## Kuviot

Kuvio 1. Laatan vapaiden nurkkien käyristyminen .....	10
Kuvio 2. Kitkakertoimien arvoja erilaisilla alustoilla .....	12
Kuvio 3. Raudoitettun rakenteen halkeamaleveys.....	15
Kuvio 4. Winklerin alustamallin toimintaperiaate .....	22
Kuvio 5. Maanvaraisen laatan keskeinen raudoitus .....	24
Kuvio 6. Maanvaraisen laatan raudoitus ylä- ja alapinnassa .....	25
Kuvio 7. Laatan vapaan reunan raudoitusvaihtoehtoja .....	26
Kuvio 8. Lähekkäisten pistekuormien yhteinen kuormituspinta-ala .....	28
Kuvio 9. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan keskellä .....	28
Kuvio 10. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan vapaalla reunalla .....	29
Kuvio 11. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan vapaassa nurkassa .....	30
Kuvio 12. Pistekuormasta aiheutuvat laatan kriittiset halkeamat sekä momenttien keskinäiset suhteet.....	31
Kuvio 13. Pistekuorman eri kuormituskohdat laatasta .....	36
Kuvio 14. Kuorman lävistyksen laskenta-alan ja -piirin määrittäminen .....	44
Kuvio 15. Liitteen 1 esimerkkilaskelman alapohjarakenne ja kantavuusarvojen vaihteluvälit.....	50

## Taulukot

Taulukko 1. Erilaisten tilojen hyötykuormien vähimmäisominaisarvoja eurokoodin mukaan.....	7
Taulukko 2. Eurolavahyllyjen lattiakuormia .....	8
Taulukko 3. Suositellut suurimmat sallitut halkeamaleveydet maanvaraisissa lattioissa .....	14
Taulukko 4. Maanvaraisen laatan murtorajatilamitoituksen seuraamusluokan mukaiset kuormien osavarmuuskertoimet .....	20
Taulukko 5. Valmiin maanvaraisen lattian alustäytön vaaditut tiiviys- ja kantavuusarvot.....	21

Taulukko 6. Alustaluvun vaihteluväli eri maalajeille .....	23
Taulukko 7. Muodonmuutosmoduulin vaihteluväli eri maalajeille .....	24
Taulukko 8. Laatan ja alustan välinen kitkakerroin eri tapauksissa .....	38
Taulukko 9. Liitteen 1 esimerkkilaskelman mitoitustulokset eri kantavuusarvoja käytettäessä .....	50

# 1 Työn lähtökohdat

Maanvaraisen teräsbetonilaatan mitoitus on aina ollut jokseenkin epäselvä ja monimutkainen prosessi. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimiva Ramboll Finland Oy oli huomannut, että maanvaraisen laatan mitoitus kaipaisi tutkimista ja mahdollisia taulukkoarvoja yleisimmin käytettäville laatan dimensioille ja muille muuttujille. Uudet Eurokoodin mukaiset mitoitusohjeet ja säännöt ovat tuoneet laatan suunnitteluun edelleen lisää haasteita.

Opinnäytetyössä tutkitaan maanvaraisen teräsbetonilaatan Eurokoodin mukaisen mitoituksen kulkua ja luodaan apuvälineitä laatan suunnitteluun. Työn tuloksena on tarkoitus saada aikaan helposti ymmärrettävä vaihe vaiheelta etenevä ohjeistus laatan mitoitukseen. Lisäksi mitoitusohjeiden avulla luodaan taulukko, jossa on lueteltuna eri paksuisia laattoja erilaisilla raudoitusverkoilla. Taulukosta voidaan nähdä, kuinka suuren pistekuorman kukin laatta maksimissaan kestää.

Työn pääasiallisena lähteenä käytetään BY45/BLY7 Betonilattiat 2014- julkaisua, sillä se on ainut löytämäni Eurokoodin mukainen maanvaraisiin lattioihin keskittynyt julkaisu. Sen lisäksi käytetään yleisiä betonirakenteiden suunnittelun standardeihin pohjautuvia julkaisuja sekä muita yleisiä ohjeistuksia ja artikkeleita.



## 2 Maanvaraisen teräsbetonilaatan suunnittelu

### 2.1 Lattioiden kuormat

Lattioiden kuormat muodostuvat pysyvistä kuormista ja muuttuvista eli hyötykuormista. Lattioiden ollessa suojassa rakennuksen sisällä niihin ei yleensä kohdistu luonnonkuormia. Pysyvät kuormat muodostuvat lattian omapainon lisäksi esimerkiksi erilaisten rakenteiden tai lattialle kiinteästi asennettujen laitteiden painosta. Jos laitteista kohdistuu laattaan erilaisia dynaamisia kuormia, niiden vaikutus täytyy myös huomioida erillisillä tarkasteluilla. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 51.)

Hyötykuormat voivat jakaantua lattiaan tasaiseksi kuormaksi tai ne voivat olla piste-mäisiä. Ne voivat aiheutua henkilöistä, tavaroista tai lattian päällä vallitsevasta liikenteestä. Mitoituksessa on aina otettava huomioon mahdolliset poikkeavuudet pintakuormien jakaantumisessa. Jossakin osassa lattiaa voi pintakuorma olla erisuuruinen kuin toisessa, ja tämä aiheuttaa luonnollisesti laattaan erilaiset rasitukset. Kuormitukset täytyy aina määritellä tapauskohtaisesti. Mitoituksessa käytettäviä määritettyjä hyötykuormitusten arvoja tulee aina verrata voimassa oleviin kuormitusohjeisiin, joissa on annettu käytettävien kuormien vähimmäisarvot ja pistekuormien kuormituspinta-alat. Taulukosta 1 nähdään kuormien vähimmäisominaisarvot eri käyttötarkoituksissa toimiville tiloille. Taulukon arvoihin sisältyvät tavallisista konttorikoneista ja muista kevyistä koneista aiheutuvat kuormat. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 51.)

Taulukko 1. Erilaisten tilojen hyötykuormien vähimmäisominaisarvoja eurokoodin mukaan (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 53.)

	Kuormaluokka	Pintakuorma kN/m <sup>2</sup>	Pistekuorma [kN] <sup>(2)</sup>
Asuintilat	A	2,0	2,0
Toimistotilat	B	2,5	2,0
Arkistotilat <sup>(1)</sup>	E1	7,5	7,0
Varastotilat <sup>(3)</sup>	E2	Tapauskohtaisesti	
Luento- ja kokoussalit	C2	3,0	3,0
Tanssi- ja voimistelusalit	C4	5,0	4,0
Katsomot, terassit	C5	6,0	4,0
Myymälätilat	D1 <sup>(4)</sup>	4,0	4,0
	D2	5,0	7,0

Hyötykuormat jaetaan eri ryhmiin. Vaikutusajanperusteella ne jaetaan joko pitkäaikaiseen tai lyhytaikaiseen kuormaan. Lisäksi ne jaetaan liikkuvuuden perusteella kiinteään tai liikkuvaan ja staattisuuden perusteella staattisiin tai dynaamisiin. Dynaamisten kuormien kohdalla staattiset arvot kerrotaan sysäyskertoimella, jona yleensä voidaan käyttää arvoa 1,4. Henkilöautoista ja muista samankaltaisista ajoneuvoista aiheutuvaa kuormaa ei tarkastella dynaamisena, sillä sen dynaamisen vaikutuksen oletetaan olevan varsin pieni. Näissä tapauksissa kuormana voidaan käyttää staattisia arvoja. Jos kone aiheuttaa jonkin tietyn vakiotaaajuuden, täytyy tapaus tarkastella erikseen. Staattista kuormaa ei voida tällaisissa tapauksissa vain kertoa sysäyskertoimella. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 51-52.)

Yleensä maanvaraisen lattian mitoittavat siihen kohdistuvat pistekuormat. Laattaa mitoittaessa tulee aina ottaa huomioon mahdolliset yhdistelmäkuormat, jotka voivat koostua piste- ja pyöräkuormista. Aina ei siis voida laattaa mitoittaa yhdelle piste-kuormalle joka vaikuttaa tietylle pinta-alalle, sillä esimerkiksi hyllyn jalat voivat olla

niin lähellä toisiaan, että ne voivat aiheuttaa jopa 50 % suuremman mitoittavan kuorman kuin yhdestä jalasta aiheutuva kuorma on. Lähekkäin olevien hyllyjalkojen vaikutus pistekuormien suuruuteen voidaan nähdä taulukosta 2, jossa on esitetty esimerkkejä lavahyllyjen lattiakuormista. Lisäksi hyllyn jalan kohdalla voi samanaikaisesti vaikuttaa hyllyä täyttävän trukin pyöräkuorma. (Matsinen 2012, 32.)

Taulukko 2. Eurolavahyllyjen lattiakuormia (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 53.)

Hyllytyyppi	Hyllyn korkeus	Pistekuorma (kN)		
		600 kg	800 kg	1000 kg
Lavan paino				
Yksinkertainen	0-3 m	6 – 18	8 – 24	10 – 30
	3-7 m	18 – 42	24 – 56	30 – 70
	7-40 m	42 - 252	56 – 336	70 – 240
Selät vastakkain	0-3 m	12 – 36	16 – 48	20 – 60
	3-7 m	36 – 84	48 – 112	60 – 140
	7-40 m	84 - 504	112 – 674	140 – 840

## 2.2 Laatan kutistuma ja lämpötilojen muutokset

Maanvaraisissa lattioissa kutistumasta ja lämpötilan muutoksista aiheutuvista liikkeistä muodostuu laattaan jännityksiä, koska laatan ja alustan välinen kitka osittain estää liikkeitä. Jos maanvarainen laatta on kuormitettu kauttaaltaan varsin kevyesti, voi raudoituksen määrääväksi tekijäksi muodostua kitkavoima ja halkeamien hallinta. Lämpötilan muutoksista aiheutuvia jännityksiä esiintyy yleensä kohteissa ja paikoissa, joissa on suuria lämpötilaeroja. Tällaisia paikkoja voi olla esimerkiksi kylmissä varastoissa sekä lämpimissä rakennuksissa suurien oviaukkojen kohdalla. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 59.)

Kutistumista sekä lämpötilaeroista aiheutuvat jännitykset pyritään yleensä minimoimaan jakamalla laatta osiin kutistumisaukkojen avulla. Näin jännityksistä aiheutuvat halkeamat saadaan rajoitettua tai jopa eliminoitua kokonaan. Monesti kuitenkin

laatta joudutaan tekemään ilman kutistumissaumoja, sillä esimerkiksi tiloissa, joissa on paljon liikennekuormaa, voivat saumat helposti murentua käytössä. Kutistumis-saumattomassa vaihtoehdossa laatan ja alustan välinen kitka on eduksi. Saumattoman laatan suuret jännitykset hoidetaan riittävän suurella raudoituksella. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 59.)

Lopulliseen betonin kuivumiskutistumaan vaikuttaa useampi tekijä. Betonin koostumuksella on suuri vaikutus kutistumaan, mutta lisäksi siihen vaikuttavat laatan mitat ja kuivumismahdollisuudet, mahdollisesti käytetyt kutistumaan vaikuttavat lisäaineet sekä valutyön ympäristöolosuhteet. Erityistä huomiota laatan suunnittelussa ja kuorimitustilanteita määritettäessä tulisi kiinnittää laatan kovettumisen aikana tapahtuvaan, yleensä varsin suureen lämpötilan muutokseen. Betonin lämpötila nousee sen kovettuessa kemiallisen reaktion vaikutuksesta ja lopulta laskee sen jäähtyessä. Talvella tämä lämpötilan muutos voi olla todella suuri, jopa 40 °C. Jos laatta ei pääse kutistumaan jäähtymisen aikana vapaasti, muodostuu sen pintaan halkeamia.

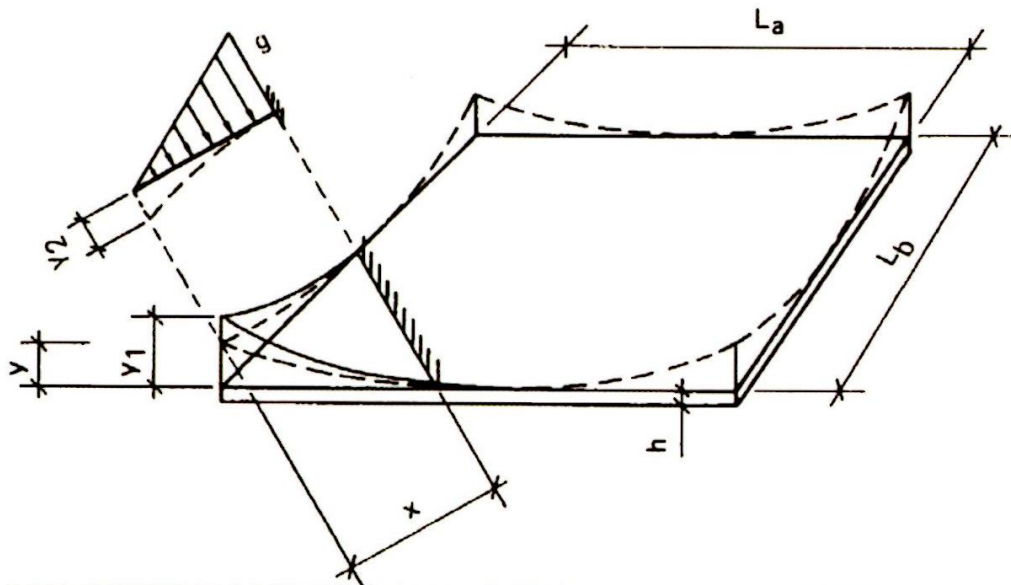
(BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 59.)

## 2.3 Lämpötila- ja kutistumiserot

Laatassa vallitsevat ylä- ja alapinnan kosteus- ja lämpötilaerot pyrkivät käyristämään laattaa. Kosteuserot aiheuttavat laattaan erisuuruisia kutistumia, jotka edelleen aiheuttavat käyristymistä. Lämpötilaerot käyristävät laattaa aiheuttamalla laatan kylmälle puolelle taivutusvetojännityksiä ja lämpimälle puolelle puristusjännityksiä. Laatan omapaino vaikuttaa näitä voimia vastaan, ja täten pyrkii vastustamaan käyristymistä. Nurkka- ja reuna-alueilla, joissa käyristyminen on suurinta, ei omasta painosta aiheutuva momentti välttämättä riitä laatan suorana pitämiseen. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 59.)

Jos halutaan saada selville käyritymän suuruus laatan vapaassa nurkassa, voidaan se laskea likiarvona kaavalla 1. Käyritymä on ilmoitettu laatan vertikaalisena nousuna, kuten kuviosta 1 voidaan nähdä. Pintojen välisenä venymäerona  $\Delta\varepsilon$  voidaan käyttää arvoa 0,00008, kun laatta lämpenee yläosastaan ja sen ylä- ja alapintojen välinen lämpötilaero on korkeintaan 8 °C. Jos laatta sitä vastoin jäähtyy yläpinnastaan ja pintojen välinen lämpötilaero on korkeintaan 4 °C, voidaan venymäerona käyttää arvoa 0,00004. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 59-60.)

$$y_1 = \frac{\Delta\varepsilon(L_a^2 + L_b^2)}{8h} \quad (1)$$



Kuvio 1. Laatan vapaiden nurkkien käyrityminen (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 60.)

Kaava 1 ilmoittaa kutistumis- ja lämpötilaeroista aiheutuvan käyritymän suuruuden, mutta siinä ei huomioida laatan oman painon pienentävää vaikutusta. Oman painon

vaikutus lasketaan erikseen kaavalla 2. Kun sekä käyristymän suuruus, että oman painon vaikutus on laskettu, voidaan nurkan lopullisen nousun likiarvo määrittää kaavan 3 avulla. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 60.)

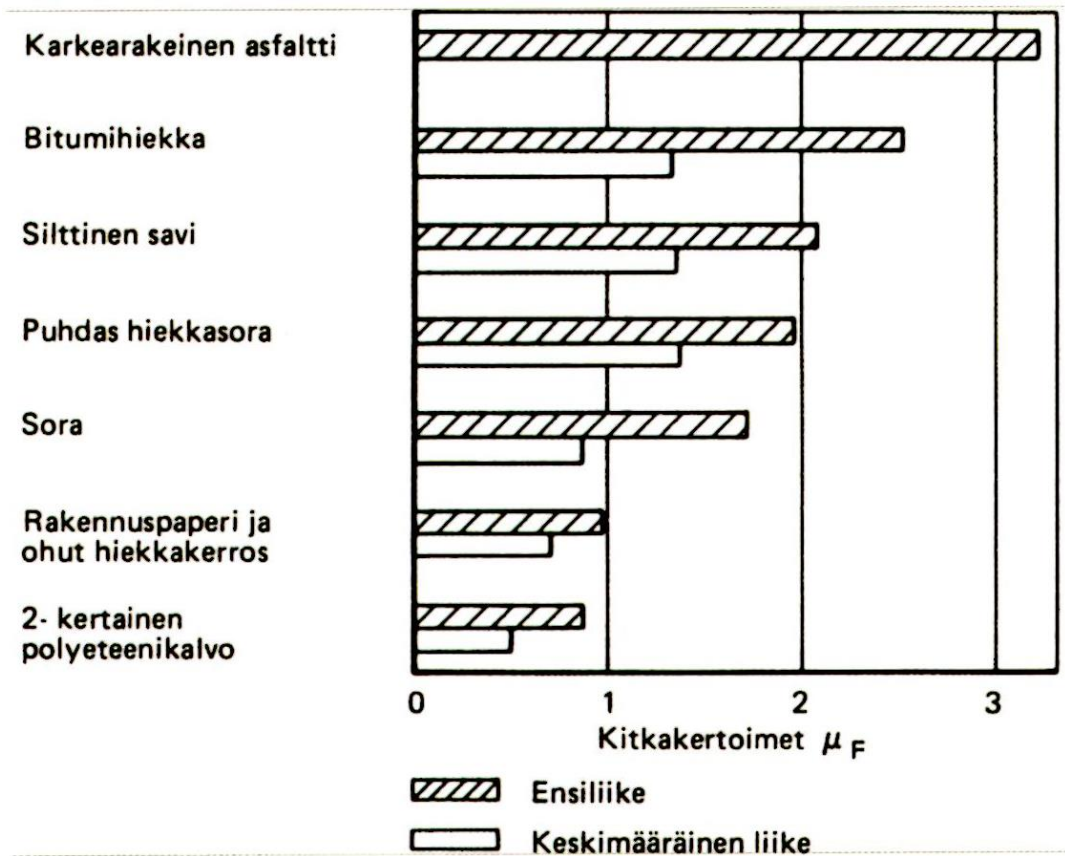
$$y_2 = \frac{gx^4}{30E_cI_c} \quad (2)$$

$$y = y_1 - y_2 \quad (3)$$

## 2.4 Kitkavoimat

Maanvaraisen betonilaatan ja sen alustan välillä on aina enemmän tai vähemmän kitkaa, joka aiheutuu betonin lämpötilamuutoksista sekä kutistumasta. Kitkavoima on käytännössä vakio koko laatan alueella, pois lukien aivan laatan reunoilla ja nurkissa, joissa se on noin puolet maksimiarvosta. Betonin kutistuessa laatan vapaat reunat siirtyvät keskustaa kohti. Kitkavoimat eivät juurikaan vaikuta tämän siirtymän suuruuteen. Jotta kitkavoima kehittyisi täyteen arvoonsa, täytyy liukumaa tapahtua noin 1,5 mm. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 60.)

Kitkakerroin voidaan määrittää liukukokeilla tai tarkastelemalla laatan päissä vallitsevia voimia sekä liukumaa. Mitoitettaessa maanvaraista betonilaattaa täytyy selvittää ko. tapauksessa vallitseva kitkakerroin. Kuviosta 2 voidaan nähdä, kuinka kitkakertoimen suuruus vaihtelee erilaisilla liukupinnoilla. Kitkavoimat ovat aina suurempia ensimmäisellä liukukerralla verrattuna myöhemmin tapahtuviin liukumiin. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 61.)



Kuvio 2. Kitkakertoimien arvoja erilaisilla alustoilla (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 62.)

Tarkasteltaessa kuviota 2 voidaan havaita, että paras alusmateriaali maanvaraisen laatan alle kitkakertoimen kannalta on kaksinkertainen muovikalvo. Kalvot toimivat laatan ja alusmaan välisinä liukupintoina, jolloin kitkakerroin muodostuu pieneksi. Muovikalvojen jättäminen laatan alle ei ole kuitenkaan suositeltavaa, sillä ne eivät läpäise kosteutta eikä laatta pääse tällöin kuivumaan alaspäin. Tämä aiheuttaa laattaan epätasaisen kuivumisen, joka puolestaan tuo mahdollisesti mukanaan muita ongelmia, kuten laatan reunojen ja nurkkien käyristymisen. Parempana vaihtoehtona voidaan pitää suodatinkangasta ja sen päälle levitettyä 20 – 30 mm paksua hiekkakerrosta. Hiekka toimii laatan ja alustan välisenä laakerikerroksena, ja sillä päästään kuvion 2 mukaan lähes yhtä pieneen kitkakertoimeen kuin muovikalvoja käytettäessä. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 61.)

Näitä kitkakertoimia käytettäessä tulee kuitenkin huomioida, että alustan tulee olla kauttaaltaan mahdollisimman tasainen. Jos alustassa on suuria epätasaisuuksia, laattaan muodostuu valettaessa kohtia, jotka estävät laatan vapaata liikkumista alustan päällä. Joskus laattaan voidaan joutua tekemään vahvennuksia esim. suuria piste-kuormia varten. Tällöin vahvennuksen reunojen täytyy olla vähintään 1:10 kaltevuudessa, jotta pakkovoimista aiheutuvat liikkeet pääsevät tapahtumaan vapaasti. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 61.)

## 2.5 Halkeilu

Betonin halkeilulta ei voida koskaan täysin välttyä, sillä betonin vetolujuus on varsin pieni. Betonirakenteet eivät yleensä pääse liikkumaan vapaasti, jolloin betonissa tapahtuva kutistuma synnyttää siihen halkeamia. Maanvaraisissa lattioissa laatan ja alusmaan välinen kitka rajoittavat vapaata kutistumista. Silmin havaittavista makrohalkeamista kaikki eivät ole rakenteellisia halkeamia, joiden leveys vaihtelee eri kuormitustilanteissa. Nämä ei-rakenteelliset halkeamat ovat lähinnä lattian ulkonäköön vaikuttavia tekijöitä. Halkeilua betonissa aiheuttavat monet eri tekijät. Näitä ovat kuormitusten lisäksi betonin tilavuudessa tapahtuvat muutokset, erilaiset pakkovoimat sekä plastisia halkeamia synnyttävät kovettuvassa betonimassassa tapahtuvat muutokset. (Leskelä 2008, 350.)

Betonin kuivumiskutistuma on suuri tekijä halkeamien syntymisessä. Kiinnittämällä erityistä huomiota betonin suhteituksen runkoaineen, ympäristön kosteuden sekä laatan mittojen valintaan, voidaan betonin kuivumiskutistumaa pienentää. Erityisen tärkeä asia kutistuman kannalta on käyttää mahdollisimman vähän vettä betonimassassa. Runkoaineen määrän ja raekoon optimoinnilla on merkittävä vaikutus mm. betonimassan pastan määrään sekä vedentarpeeseen ja sitä kautta betonin kutistumaan. (Hietala 2011, 56.)



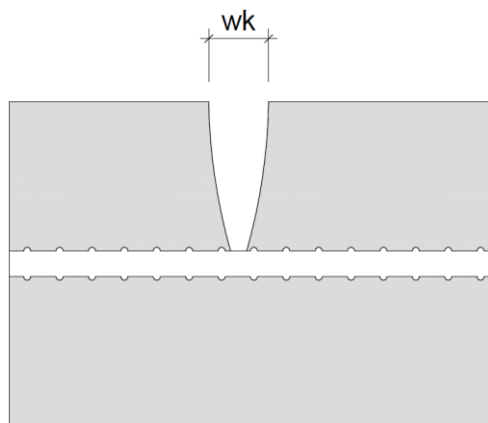
Käytännössä lattialaatoissa on aina enemmän tai vähemmän halkeamia. Täysin halkeamaton laatta on erittäin vaikea toteuttaa, eikä se yleensä ole edes tarkoituksenmukaista. Sen sijaan halkeilun suhteen tulisi kiinnittää huomiota sen rajoittamiseen niin, että lattiasta saadaan rakenteellisesti toimiva sekä säilyvyys- ja ulkonäkövaatimukset täyttävä. Jos halkeamilla ei ole vaikutusta rakenteen oikeanlaiseen toimintaan, niiden voidaan antaa syntyä vapaasti pyrkimättä rajoittamaan niiden leveyttä. Muulloin halkeamaleveydelle täytyy kuitenkin määrittää raja-arvo, joka ottaa huomioon rakenteen halutun toiminnan sekä halkeamien rajoittamisesta aiheutuvat kustannukset. Taulukossa 3 on esitetty vaativuusluokittain suositellut suurimmat halkeamaleveydet maanvaraisille lattioille. Halkeamaksi luokitellaan vähintään 0,05 mm leveät halkeamat. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 23.)

Taulukko 3. Suositellut suurimmat sallitut halkeamaleveydet maanvaraisissa lattioissa (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 24.)

Halkeamaleveysluokka				
	I	II	III	IV
Kuvaus	Vaativa	Normaali	Merkityksetön	Erikoisluokka
Sallittu halkeamaleveys (mm)	0,3	1,0	Ei vaatimusta	Ilmoitetaan erikseen

Halkeamien muodostumisen merkitys tulee esille erityisesti raskaasti liikennöidyillä lattioilla. Jos halkeamat ovat kovin leveitä, ne alkavat helposti murentua esimerkiksi kovapyöräisten trukkien alla. Mitä pidemmälle halkeamat ja niissä syntyneet vauriot etenevät, sitä suurempia ongelmia niistä alkaa ilmetä. Suurien halkeamien kohdalle voi syntyä myös mm. reunojen nousua sekä halkeamien ylittävän kuormansiirtokyvyn menetettyä jopa tasoeroja, jotka tekevät lattiasta yhä epätasaisemman. Halkeamat altistavat lisäksi laatan raudoituksen kosteudelle ja klorideille, joka aiheuttaa raudoitukseen korroosiota. Näkyville jäävien betonilattioiden suunnitteluasiakirjoissa tulee esittää halkeilulle annetut vaatimukset. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 23.)

Laatan halkeamaleveyttä tutkittaessa mitoitustarkasteluissa käytetään apuna laskennallista suuretta halkeaman ominaisleveys  $w_k$ , jonka avulla voidaan selvittää, jääkö halkeaman leveys pienemmäksi kuin annettu raja-arvo. Raudoitettussa rakenteessa halkeaman ominaisleveys kuvaa halkeaman leveyttä rakenteen pinnassa (ks. kuvio 3). Raudoituksen pinnassa leveys on pienempi, mutta teoreettiset halkeamaleveystarastelut kaavojen johtamiseksi suoritetaan kuitenkin sen mukaan. Raudoituksen pinnasta halkeamaleveyttä ei voida mitata. Halkeaman ominaisleveyttä  $w_k$  verrataan halkeaman sallittuun maksimiarvoon  $w_{\max}$ . Jos leveys jää pienemmäksi kuin maksimiarvo, katsotaan laatan käyttökelpoisuuden toteutuvan. Kaikki ominaisleveyden määrittämiseksi kehitetyt kaavat sisältävät empiirisiä parametreja. (Leskelä 2008, 355.)



Kuvio 3. Raudoitettun rakenteen halkeamaleveys

## 2.6 Laatan saumat

### 2.6.1 Erilaiset saumatyypit

Eri saumatyyppejä ovat liikuntasaumot, irrotussaumot, kutistumissaumat sekä työsaumat. Saumatyypit valitaan lattiatyyppiin ja lattian suunnitellun toimintatavan pe-

rusteella. Valinnassa tulee ottaa aina huomioon lattian käyttötarkoitus ja siihen kohdistuvat rasitukset. Nykyään on saatavilla paljon erilaisia valmiita saumaraudoitteita ja laitteita, jotka helpottavat saumojen suunnittelua. Ne ovat tukevia ja siirtävät hyvin kuormia sauman yli. Valmiiden saumaraudoitteiden kuormansiirtokyky tulee myös aina varmistaa. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 77; Matsinen 2012, 32.)

Liikuntasaumojen kohdalla laatta on aina kokonaan poikki, jolloin se sallii laatan lyhentyä ja pidentyä sekä kiertyä. Tällöin saumojen täytyy kuitenkin pystyä siirtämään leikkausvoimat laatalta toiselle, ja tämä täytyykin ottaa huomioon sauman suunnittelussa. Liikuntasaumojen jako suunnitellaan aina tapauskohtaisesti ottaen huomioon mahdolliset lämpötiloista ja kosteuseroista johtuvat liikkeet. Irrotussaumaa puolestaan käytetään erottamaan maanvarainen laatta esimerkiksi liittyvistä pystyrakenteista, lattiassa sijaitsevista kaivoista ja kanavista ym. rakenteista suunnittelematomien pakkovoimien estämiseksi. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 78-79.)

Kutistumissaumana käytetään yleensä sahattua saumaa. Se antaa laatan sauman avautua sallimalla laattojen välisen kulmamuutoksen. Jos saumaa ei raudoiteta, sen kuormansiirtokyky on heikompi, mutta se sallii suuremmat liikkeet. Jos sitä vastoin saumaan suunnitellaan rauditus, sen kuormansiirtokyky paranee mutta se ei salli niin suuria liikkeitä kuin raudoittamaton. Sahasauman leveys on noin 3 mm ja sahaussyvyys tulee olla noin 25 – 30 % laatan paksuudesta. Syvyyden kanssa tulee olla tarkkana. Jos sauma sahataan liian matalaksi, ei saumoihin saada aikaan riittävää vetokestävyysheikennystä, jolloin halkeamat eivät kohdistu kokonaan saumoihin. Jos taas syvyys on liian suuri, sauman vaarnavaikutus pienenee. Mitoituksen osalta sauma toimii kuten laatan vapaa reuna. Sahasaumatassa laatussa tulee kuitenkin muistaa periaate, että 30 % kuormasta oletetaan siirtyvän sauman yli. Tällöin sauman reuna mitoitetaan 70 %:lle täydestä kuormasta. Jos saumasta kohdistuu suuria pistekuormia, joudutaan saumassa käyttämään vaarnatappeja. Sahasaumattu laatta toimii parhaiten kevyesti kuormitetuissa lattioissa. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 78; Matsinen 2012, 32.)

Työsauman tarkoituksena on käytännössä liittää laattojen reunat kiinteästi yhteen niin, että sauma ei avaudu eikä tapahdu kulmanmuutoksia. Työsaumoja tehdään yleensä rajaamaan päivittäisiä valualueita, ja niitä käytetään pääasiassa saumatto-  
missa lattioissa. Sauman raudoituksen vetokestävyyden tulee olla suurempi kuin laa-  
tassa käytetyn betonin vetolujuuden, jotta vältetään sauman aukeamiselta. Raudoi-  
tuksen vähimmäismäärä voidaan laskea kaavalla 4, jossa betoniteräksen myötölujuu-  
den ominaisarvo rajoitetaan arvoon  $\leq 400$  MPa. Laatan rauditus viedään kuitenkin  
aina täysimääräisenä laatan läpi. Työsauman raudoituksen tarkempaa mitoitusta käy-  
dään läpi esimerkiksi julkaisussa *BY 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus*  
*2008* kappaleessa *Työsauman leikkauskestävyys ja lujuus*, sekä vaarnatappien mitoi-  
tusta kappaleessa *Lyhyet vaarnat*. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 79.)

$$A_s = \frac{f_{ctm} A_c}{f_{yk}} \quad (4)$$

### 2.6.2 Saumajako

Laattoihin tehtävät saumat muodostuvat yleensä laatan heikoksi kohdaksi. Tämän ta-  
kia on hyvä aina pyrkiä jakamaan laatta mahdollisimman harvaan saumajakoon, ellei  
saumaton lattia ole mahdollinen. Maanvaraisen laatan saumajaon valintaan vaikut-  
taa monet eri asiat. Niitä ovat esimerkiksi rakennuksen muoto, lattian toteutustapa,  
lattiaan asennettavat kanavat ja kuilut, erilaisten laitteiden ja koneiden vaatimat pe-  
rustukset sekä valittu halkeilun huomioonottava mitoitusperiaate. Kaikki rakenteet ja  
kuopat, jotka muodostavat laattaan paksunnoksia, tulisi aina mahdollisuuksien mu-  
kaan erottaa laatasta liikunta- tai kutistumissaumalla. Vaihtoehtoisesti saumat jae-  
taan siten, että paksunnokset jäävät laatan keskelle. Tällöin ne eivät pääse vaikutta-  
maan laatan vapaaseen kutistumaan. Myöskään raskaita väliseiniä ei tulisi sijoittaa  
saumojen viereen, sillä nekin estävät laatan vapaan liikkumisen aiheuttaen mahdolli-  
sesti halkeamia. Jos lattiassa on selkeästi eri tavalla toimivia tai kuormitukseltaan

poikkeavia alueita, tulisi ne aina erottaa saumalla. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 80.)

Suunnittelijan tulee aina määrittää sahasaumojen väli, eikä jättää sitä urakoitsijan päätettäväksi. Hyvä yleissääntö sahasauman välille on 30 kertaa laatan paksuus. Tällöin jos esimerkiksi laatan paksuus on 150 mm, tulisi sahasaumavälin olla noin 4,5 metriä. Todellisuudessa saumaväli kuitenkin valitaan yleensä hiukan suuremmaksi. Laatat pyritään jakamaan aina neliömäisiin ruutuihin, mutta laatan sivujen suhde saa olla kuitenkin korkeintaan 1,5. (Matsinen 2012, 32.)

Pitkien kutistumissaumavälien kanssa tulee olla tarkkana, sillä ne saavat usein laattaan aikaiseksi suunnittelemattomia saumoja, eli kutistumishalkeamia. Tämä johtuu siitä, että alustan ja laatan välinen kitka muodostuu monesti oletettua suuremmaksi. Saumojen vaarnavaikutus ja täten myös kuormansiirtokyky saattaa hävitä yli 6 metriä pitkillä saumaväleillä sauman suuren kutistumisesta aiheutuvan avautumisen takia. Jos lattiaan ei tehdä kutistumissaumoja, käytetään työ- tai liikuntasauvoja päivittäisten valualueiden rajaamiseen. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 80.)

### 3 Laatan mitoituksen periaatteet

#### 3.1 Yleisiä periaatteita maanvaraisen laatan mitoitukseen

Maanvaraisia lattioita suunniteltaessa käytetään yleensä seuraamusluokkaa CC2. Seuraamusluokka CC2 sisältää riskin merkittävistä taloudellisista vahingoista, joka onkin maanvaraisten lattioiden kohdalla todennäköinen lattian suunnittelun tai toteutuksen epäonnistuessa. Jos mahdollisten vaurioiden taloudelliset seuraamukset ovat erittäin suuret, valitaan seuraamusluokaksi CC3. Seuraamusluokassa CC2 valitaan toteutusluokaksi 2 tai erityisen vaativissa kohteissa 3. Seuraamusluokassa 3 puolestaan valitaan toteutusluokaksi 3. Maanvaraisissa latioissa käytetään toleranssiluokkaa 1. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 85; RIL 201-1-2011, 24.)

Maanvarainen laatta voidaan suunnitella kolmella eri raudoitustyyppillä. Yleisin ja perinteisin tapa on käyttää tankoraidoitusta, johon tässä opinnäytetyössäkin keskitytään. Tankoraidoitetuissa laatoissa käytetään betoniteräsverkkoja, jotka ovat joko levyinä tai rullina. Laatta voidaan myös suunnitella teräskuituraudoitteiseksi sekä myös jälkijännitetyksi. Joskus voidaan myös käyttää tankoraidoitusta ja teräskuituja yhdessä, jolloin saadaan käyttöön kummankin hyvät ominaisuudet. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 85; Ruohomäki, Jormalainen, Pärssinen, Saarikivi & Söderholm 1997, 98.)

Yksi tärkeimmistä tekijöistä maanvaraisen laatan mitoituksessa on selvittää, käytetäänkö laatussa kutistumissaumoja vai ei. Käytettäessä kutistumissaumoja oletetaan, että laattaan ei synny halkeamia saumojen välille. Tällöin on muistettava, että laatan ja alustan välisen kitkan on muodostuttava mahdollisimman pieneksi. Jos laatta mitoitetaan sitä vastoin ilman kutistumissaumoja, eliminoidaan kutistumasta aiheutuvat halkeamat riittävällä raudoituksella, sekä suurella laatan ja alustan välisellä kitkalla. Toisin sanoen raudoituksen vetokestävyys täytyy olla tässä tapauksessa suurempi kuin betonin vetokestävyys. Mahdollisesti syntyvien halkeamien leveys tulee

olla pienempi kuin annettu maksimiarvo halkeamaleveydelle. Täysin halkeamaton laatta on erittäin vaativa toteuttaa, ja se saadaan aikaiseksi ainoistaan jännitetyllä rakenteella. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 85.)

Laattaan kohdistuu murtorajatilassa pysyviä ja muuttuvia kuormia, sekä myös pakko-voimia. Kun laatta mitoitetaan murtorajatilassa seuraamusluokkaan CC2, käytetään taulukon 4 mukaisia kuormien osavarmuuskertoimia. Laattaa täytyy tarkastella sekä tapauksessa 1 että 2. Taulukosta 4 nähdään, että mitoitettaessa laatta seuraamusluokkaan CC3, täytyy käyttää suurempia osavarmuuskertoimia. Jos laattaan kohdistuu liikkuvia kuormia, ne täytyy kertoa sysäyskertoimella 1,4. Materiaalikertoimina käytetään normaalitilanteessa betonille kerrointa 1,5 sekä raudoitukselle kerrointa 1,15. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 86.)

Taulukko 4. Maanvaraisen laatan murtorajatilamitoituksen seuraamusluokan mukaiset kuormien osavarmuuskertoimet

	CC2		CC3	
	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 1	Tapaus 2
Suurin muuttuva kuorma	1,3	1,0	1,4	1,1
Pysyvät kuormat	1,0	1,0	1,0	1,1
Pakkovoimat	0	1,0	0	1,1

Laatan mitoituksessa käyttörajatilassa täytyy ottaa huomioon myös pakkovoimat. Mitoituksessa käytetään sekä kuormien että materiaalien osavarmuuskertoimina kerrointa 1,0. Halkeamat otetaan mitoituksessa huomioon vertaamalla niitä säilyvyysvaatimuksiin sekä sallittuihin halkeamaleveyksiin. Kun määritetään kutistumien aiheuttamaa halkeamaleveyttä, voidaan halkeamavälin määrittämiseen käyttää 1,5 -kertaista tartuntalujuutta murtorajatilatarkasteluun verrattuna. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 86.)

### 3.2 Alustan ominaisuudet

#### Kantavuusmoduuli E

Kantavuusmoduuli, eli kimmomodula, ilmoittaa maapohjan kantavuuden. Toisin sanoen se kuvaa kuormituksen kohteena olevan maapohjan tiiveyttä ja siirtymäominaisuuksia. Kantavuusmoduuli on arvo, joka saadaan määritettyä kantavuuskokeiden avulla kuormittamalla tiivistettyä rakennekerrosta sen pinnasta ja tutkimalla kuorman aiheuttamaa painumaa. Maapohja on sitä kantavampi, mitä suurempi kantavuusmoduuli sillä on. Kantavuusmoduulin suuruuteen vaikuttaa siis oleellisesti maapohjan kantavuus, tiiveys ja painuman suuruus. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 64.)

Kantavuusmoduulin mittaus tehdään joko painonpudotuslaitteella tai levykuormituskokeella. Kokeessa maapohjaan kohdistetaan tunnetun suuruinen kuorma, jonka jälkeen tarkastellaan kuormituslevyn alle syntyneitä muodonmuutoksia. Kokeen tuloksena saadaan jännityksen ja painuman välinen suhde. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 64.)

Maanvaraisen lattian alustäytölle on annettu laatuluokasta riippuvat kantavuuden ja tiiveyden minimiarvot. Taulukosta 5 nähdään, että rakennettaessa lattiaa laatuluokkaan 1, jokaiselta yksittäiseltä täyttökerrokselta vaaditaan vähintään 50MN/m<sup>2</sup> kantavuus.

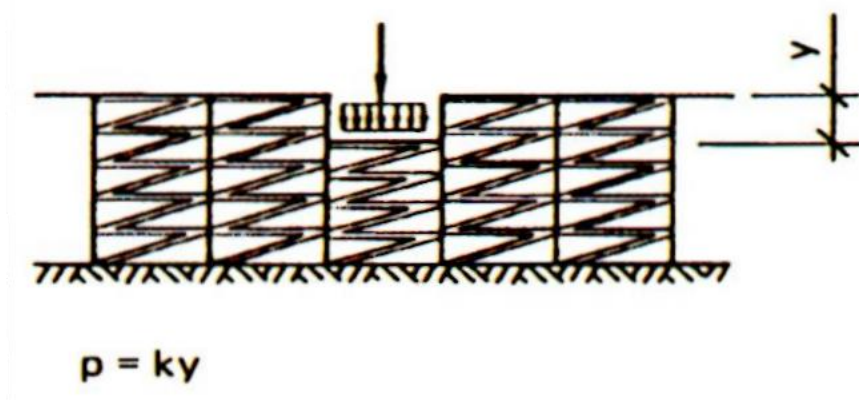
Taulukko 5. Valmiin maanvaraisen lattian alustäytön vaaditut tiiviys- ja kantavuusarvot (RIL 132-2000, 54.)

		Laatuluokka		
		I	II	III
Pienin sallittu yksittäinen tiiviysaste	%	≥ 93	≥ 90	≥ 87
Pienin sallittu yksittäinen kantavuusarvo	MN/m <sup>2</sup>	E <sub>1</sub> ≥ 50	E <sub>1</sub> ≥ 40	-



## Alustaluku k

Mitoitettaessa maanvaraisen lattian pohjaa tarvitaan alustalukua  $k$ , joka kuvaa lähes samaa asiaa kuin kantavuusmoduuli. Alustaluku ja kantavuusmoduuli pohjautuvat erilaisiin teorioihin. Alustaluvun tarkoituksena on ottaa laskennassa huomioon alustassa tapahtuva painuma ja sen vaikutukset taipumaan ja taivutusrasituksiin. Alustalukumenetelmien avulla voidaan määrittää laatan voimasuureet ja taipuma sekä pohjapaine, jotka aiheutuvat pistemäisestä kuormasta. Alustalukuteorioissa alustaa kuvataan yleensä kimmoisilla jousilla, joista yleisimmin käytetty on varsin yksinkertainen Winklerin alustamalli. Winklerin malli perustuu vierekkäisiin irrallisiin kimmoisiin jousiin, joilla on sama jousivakio (ks. kuvio 4). Kuten kuviosta 4 voidaan havaita, Winklerin mallin mukaan alustapaine ajatellaan suoraan verrannolliseksi taipumaan. Alustaluvun määrittäminen tarkasti on erittäin haastavaa, sillä lähtötiedot tulisi tar-  
kan arvon saamiseksi selvittää paikan päältä kantavuuskokeiden avulla. Kokeet tulisi tehdä sekä pohjamaalle että eri täytekerroksille. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 65.)



Kuvio 4. Winklerin alustamallin toimintaperiaate (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 65.)

Koska mittauksiin perustuvia lähtötietoja on hyvin harvoin saatavilla, käytetään alustaluvun määrittämisessä taulukkoarvoja. Taulukoissa 6 ja 7 on annettu maalajikohtaiset arvot alustaluvulle sekä muodonmuutosmoduulille. Alustaluvun laskemiseen kehitel-

lyt kaavat antavat myös likimääräisiä tuloksia. Maanvaraista betonilaattaa mitoitetessa ei toisaalta tarvitakaan täysin tarkkaa alustaluvun arvoa, sillä selvitysten mukaan 50 %:n virhe arvossa aiheuttaa mitoituksessa ainoastaan 5%:n virheen laatan paksuuteen. Myöskään taivutusjännityksiin ei synny merkittävää virhettä. Tästä johtuen on hyvä käyttää mitoituksessa taulukoiden minimiarvoja, koska ne ovat varmalla puolella, mutta eivät kuitenkaan vaikuta mitoitukseen ratkaisevasti. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 65-66.)

Laatan alle valituilla täyttökerroksilla on suuri vaikutus alustalukuun. Jos alustakerroksia lisätään, tai niiden paksuutta kasvatetaan, alustaluku pienenee. Jos taas valitaan maalaji, jolla on suurempi kantavuusmoduuli, alustaluku kasvaa. Siksi onkin suositeltavaa käyttää täytössä mahdollisuuksien mukaan aina mahdollisimman kantavia täytekerroksia, kuten esimerkiksi soraa tai mursketta. Lämmöneristeiden, kuten EPS- tai XPS-eristeiden käyttö laatan alla pienentää alustalukua merkittävästi, sillä niiden materiaalikohtainen alustaluku ja kantavuusmoduuli ovat varsin pienet. Siksi tulisikin tapauskohtaisesti aina miettiä tarkoin, tarvitaanko laatan alle välttämättä muovipohjaisia eristeitä. (BLY-14, 48; BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 67.)

Taulukko 6. Alustaluvun vaihteluväli eri maalajeille (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 67.)

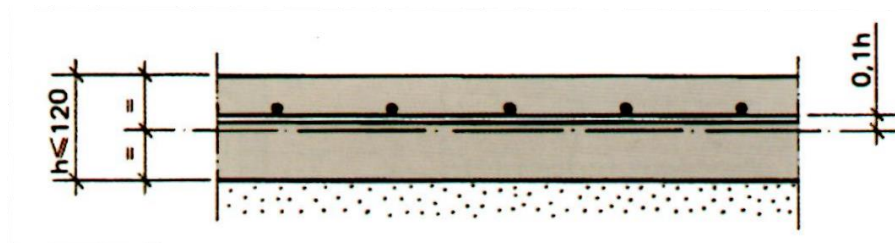
Perusmaa	$k_m$ [MN/m <sup>3</sup> ]
Hiekka	10...30
Tiivis hiekka	30...80
Tiivis hiekkasora	80...150
Karkea sora	150...250
Tiivis sora	200...300

Taulukko 7. Muodonmuutosmoduulin vaihteluväli eri maalajeille (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 67.)

Maalajien	E [MN/m <sup>2</sup> ]
Savi <sup>1)</sup>	2...10
Hiekka	10...30
Tiivis hiekka	40...80
Tiivis sora	100...200
Tiivis soramurske	300...350

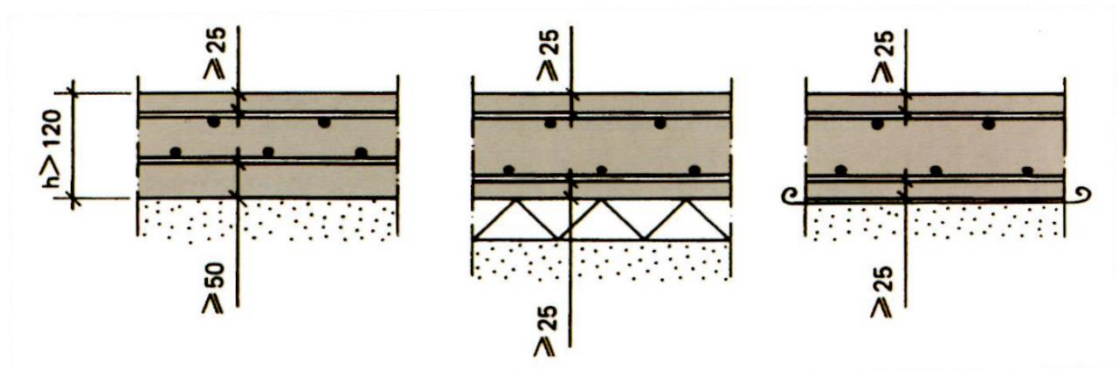
### 3.3 Raudoituseriaate

Maanvarainen laatta voidaan raudoittaa kahdella eri tavalla. Jos laatan paksuus on 120 mm tai pienempi, sijoitetaan rauditus keskelle laattaa. Rauditus saattaa kuitenkin painua hieman tuotantovaiheessa, joten se on asennettaessa hyvä sijoittaa laatan keskiviivan yläpuolelle (ks. kuvio 5). Jos paksuus on kuitenkin suurempi kuin 120 mm, tulee rauditus sijoittaa sekä ylä- että alapintaan. Keskeisen raudituksen tapauksessa käytetään mitoituksessa jäykkyyden määritykseen laatan paksuutena arvoa  $0,85h$ . Kun taas lasketaan laatan vaatimaa raudituksen määrää, käytetään laatan hyötykorkeutena  $d$  arvoa  $0,5h$ . (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 87.)



Kuvio 5. Maanvaraisen laatan keskeinen rauditus (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 87.)

Sijoitettaessa raudoitus laatan ylä- ja alapintaan, tulee ottaa huomioon raudoituksen vaatimat betonipeitteet. Betonipeitteiden yleisimmät arvot on esitetty kuviossa 6. Laatan yläpinnan betonipeitettä määritettäessä tulee ottaa huomioon ympäristön ra-  
situsluokka, suunniteltu käyttöikä sekä mahdollinen kulutusvara ja mittapoikkeama. Käytettäessä 16 mm maksimiraekokoa, yläpinnan betonipeitteeksi muodostuu 25 mm. Alapinnan betonipeitteen arvo riippuu siitä, valetaanko laatta suoraan maata vasten, vai käytetäänkö välissä kovaa eristettä tai tasausbetonia. Valettaessa laatta suoraan maata vasten, tulee betonipeitteen olla vähintään 50 mm. Eristettä tai tasausbetonia käytettäessä betonipeitteeksi riittää 20 mm. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 31-32.)



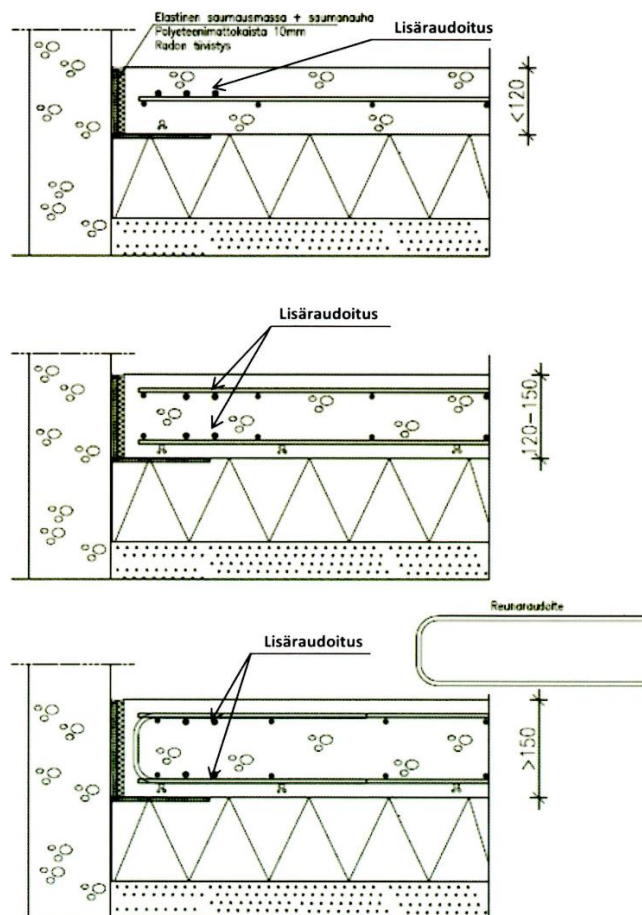
Kuvio 6. Maanvaraisen laatan raudoitus ylä- ja alapinnassa (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 88.)

Raudoitusta suunniteltaessa pitää muistaa myös laatan vapaiden reunojen ja nurk-  
kien mahdolliset lisäraudoitteet. Kuviossa 7 on esitetty laatan reunojen raudoitus-  
vaihtoehtoja. Alle 150 mm paksuissa laatoissa ei voida käyttää taivutettuja reuna-  
raudoitteita niiden vaatiman tilan vuoksi. Tällöin täytyy käyttää ainoastaan reunojen  
suuntaisia, ja myös tarpeen mukaan reunoja vastaan kohtisuoria lisäraudoitustan-  
koja. Tangot kiinnitetään laatan ylä- ja alapinnan rautoihin. Jos laatta on kuitenkin  
paksuudeltaan vähintään 150 mm, voidaan reunat vahvistaa taivutetuilla reuna-

raudoitteilla. Tulee kuitenkin muistaa, että myös taivutettuja reunaraudoitteita käytettäessä tarvitaan yleensä laatan reunan suuntaisia lisäraudoitustankoja.

(BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 74.)

Laatan raudoituksessa suositellaan käytettäväksi vähintään 8 mm:n tankohalkaisijaa, sillä pienempien tankojen tuenta on ongelmallista. Raudoituksen tuentaan puolestaan suositellaan jatkuvia tankovälikkeitä 750 mm jaolla. Raudoitus voidaan laittaa maksimissaan 1/3- paksuuden päähän laatan alapinnasta, jos halutaan, että laatta kantaa mahdollisimman suuren kuorman. Toisaalta jos halutaan rajoittaa yläpinnan halkeilua, raudoituksen tulisi olla maksimissaan 1/3- paksuuden päässä laatan yläpinnasta. (BLY-14, 51.)



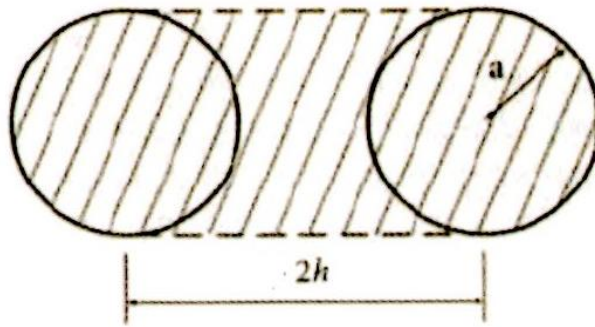
Kuvio 7. Laatan vapaan reunan raudoitusvaihtoehtoja (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 75.)

### 3.4 Mitoittavat laattaan kohdistuvat voimat

Maanvaraiseen laattaan vaikuttaa aina jonkin suuruinen tasainen kuorma. Tasainen kuormitus vaikuttaa lähinnä laatan ja alustan väliseen kitkavoimaan, ja se tuleekin ottaa aina mitoituksessa huomioon. Maanvaraisen laatan alustan tulisi olla mahdollisuuksien mukaan joka puolelta tasaisesti painuva. Jos alustassa esiintyy suuria painumaeroja, mitoitus muodostuu erittäin hankalaksi. Painuman ollessa tasainen eivät tasanaiset kuormitukset aiheuta laattaan taivutusrasituksia. Joskus laatan valualueella voi olla erilaisia jäykkiä rakenteita, jolloin näiden rakenteiden ja laatan välille muodostuu mahdollisesti painumaeroja. Tällaiset tilanteet tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 88.)

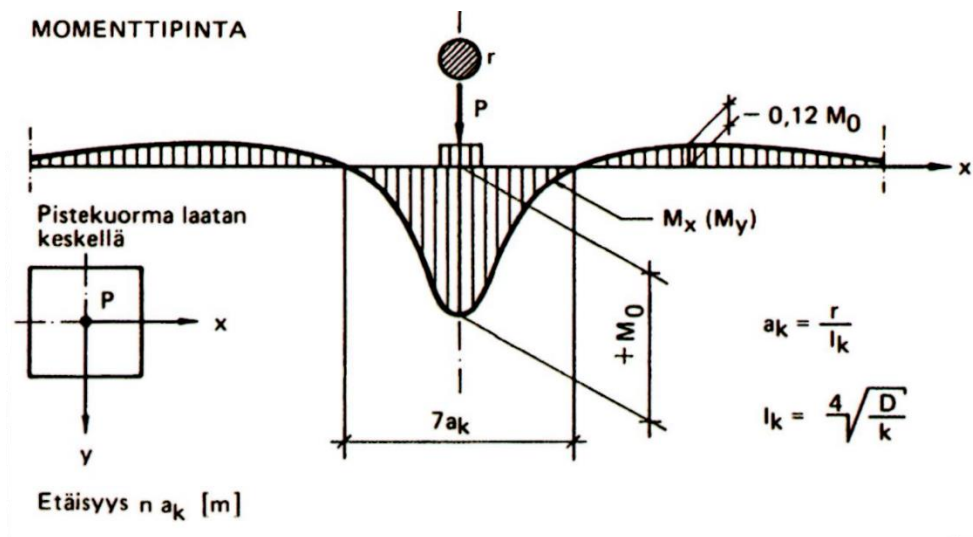
Laattaan voi kohdistua myös viivakuomia, jotka aiheutuvat yleensä raskaista väliseinistä. Viivakuormien laattaan aiheuttamien rasitusten määrittäminen on järkevintä suorittaa laskentaohjelmilla. Erityisen suurien viivakuormien kohdalla joudutaan laattaan usein tekemään paksunnos. Näitä tulisi kuitenkin välttää jos mahdollista, sillä ne estävät laatan vapaata liikettä sen kutistuessa. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 89.)

Yleensä laatan mitoittavat siihen kohdistuvat liikkuvat pistekuormat. Pistekuorman vaikutukset laattaan ovat erilaiset sen paikasta riippuen, joten kaikkia mahdollisia tapauksia tulee tarkastella. Pistekuormien rasitukset tulee määrittää laatan keskellä, laatan vapaalla reunalla, laatan vapaassa nurkassa sekä laattojen sauman keskellä ja nurkassa. Ei tule kuitenkaan unohtaa lähekkäin olevien pistekuormien rasitusten tarkastelua, jos sellaisia laatussa ilmenee. Jos pistekuormien välinen etäisyys on maksimissaan kaksi kertaa laatan vahvuus, niitä tarkastellaan yhtenä pistekuormana. Niiden yhteinen kuormituspinta-ala määritetään tällöin kuvion 8 mukaisesti. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 89.)



Kuvio 8. Lähekkäisten pistekuormien yhteinen kuormituspinta-ala (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 91.)

Laatan keskelle kohdistuva pistekuorma aiheuttaa rasituksia lähinnä laatan alapintaan. Kuten kuviosta 9 voidaan huomata, pistekuorma aiheuttaa suoraan sen vaikutuskohtaan laatan alapintaan momenttihuipun. Tällöin alapintaan aiheutuu vetoa, joka täytyy ottaa vastaan raudoituksella. Pistekuorman ajatellaan vaikuttavan ympyrän muotoiselle pinta-alalle.

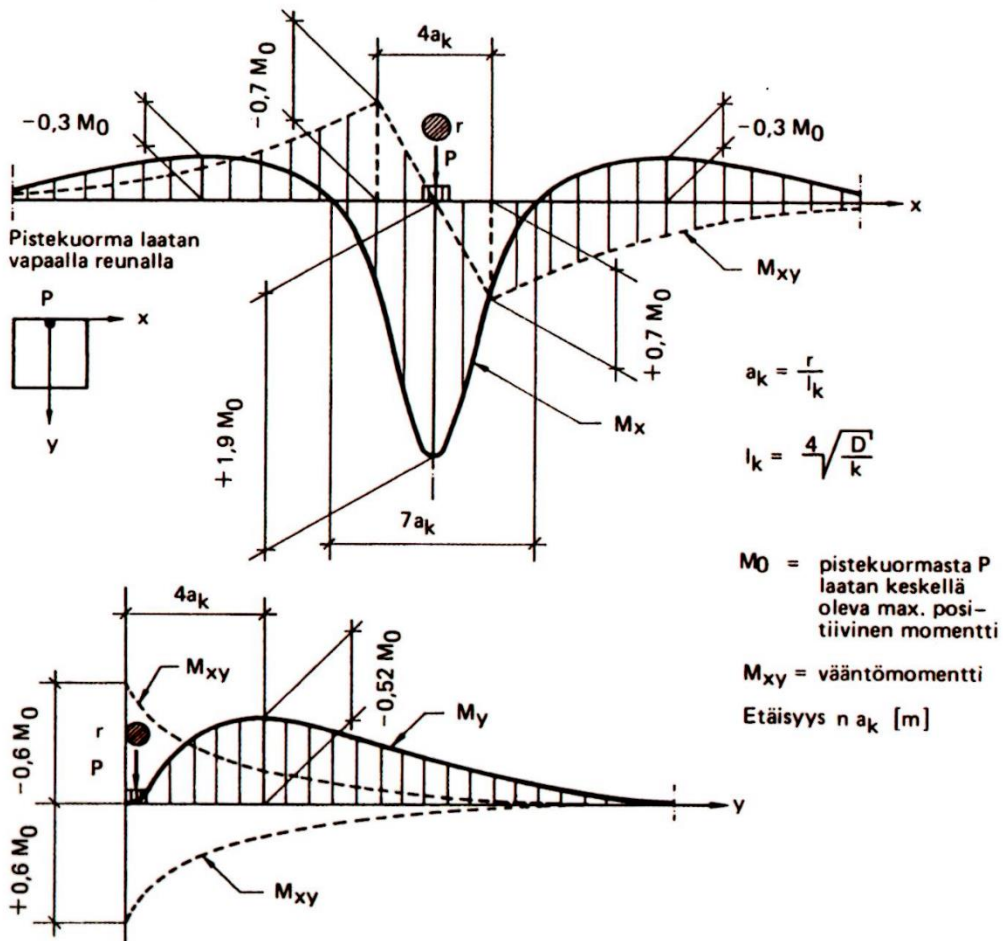


Kuvio 9. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan keskellä (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 90.)

Pistekuorman vaikuttaessa laatan vapaalla reunalla saavutetaan lähes kaksinkertainen momentti verrattuna vastaavaan pistekuormaan laatan keskellä (ks. kuvio 10). Pistekuorma aiheuttaa tässäkin tapauksessa laatan alapintaan vetorasituksen. Laatan

reunalla yläpintaan vaikuttava negatiivinen momentti on suurempi kuin vastaavassa tilanteessa laatan keskellä. Laatan reunalla pistekuorma aiheuttaa laattaan lisäksi vääntömomenttia, joka sekin on merkittävä. Vääntömomentin kuvaaja muodostuu erilaiseksi verrattuna taivutusmomentin kuvaajaan, joten niiden huippuarvot vaikuttavat eri kohdissa. Laatan vapaalla reunalla vaikuttava pistekuorma aiheuttaa moninkertaisen pohjapaineen ja laatan reunan taipuman. Tämän takia mahdollisten saumarakenteiden tulisi siirtää mielellään noin puolet pistekuormasta sauman yli toiselle laatalle. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 92.)

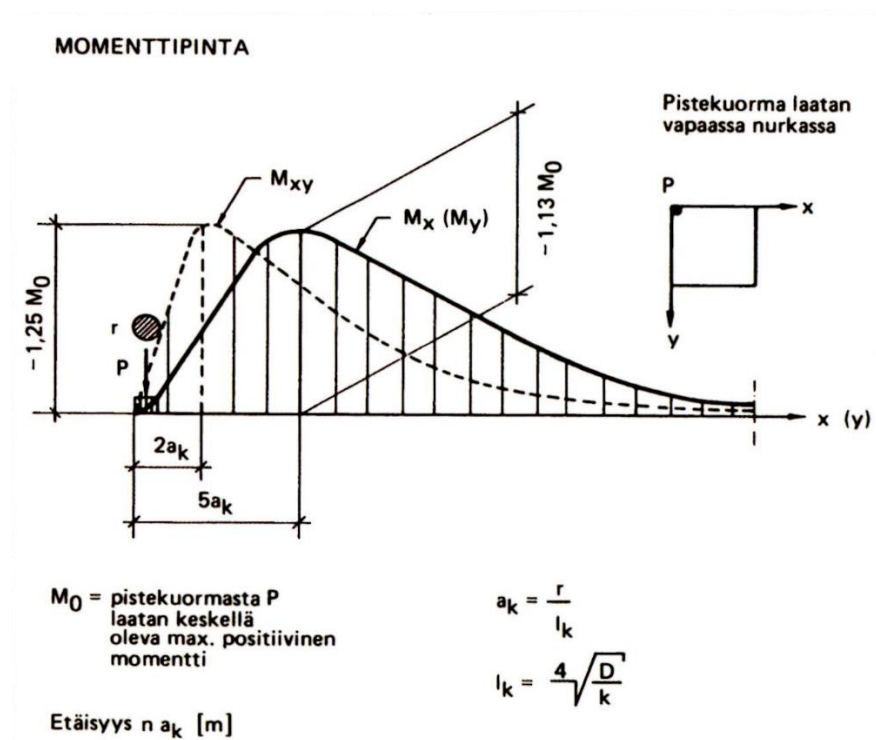
#### MOMENTTIPINTA



Kuvio 10. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan vapaalla reunalla (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 92.)



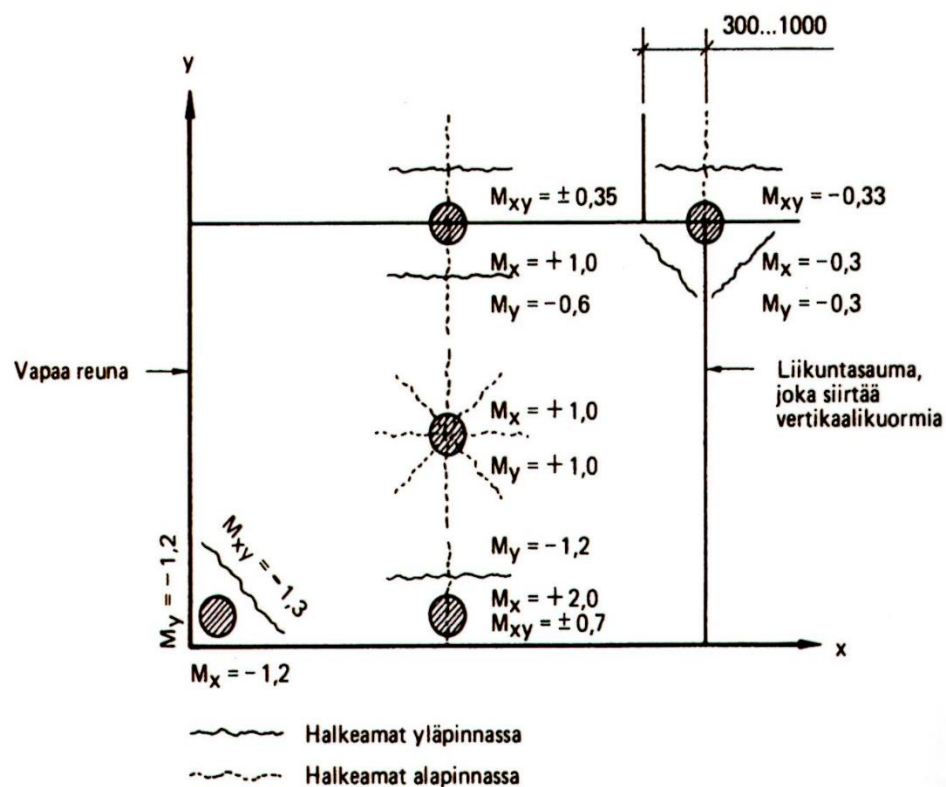
Kuviossa 11 on esitetty momenttikuvio, joka aiheutuu laatan vapaaseen nurkkaan vaikuttavasta pistekuormasta. Kuvioista voidaan nähdä, että tässä tapauksessa kuormituksesta aiheutuva vääntömomentti muodostuu merkittäväksi. Vääntömomentti tulee ottaa huomioon mitoituksessa, sillä se kasvattaa laatan mitoitusmomentin noin kaksinkertaiseksi verrattuna taivutusmomenteihin. Nurkassa vaikuttava pistekuorma aiheuttaa vielä suuremman pohjapaineen, kuin laatan vapaalla reunalla vaikuttava vastaava pistekuorma. Tämän takia alustan kantavuuteen, ja erityisesti mahdollisen eristeen kuormituskestävyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Joskus voidaan joutua tekemään laattaan tätä varten paksunnos, mutta ensisijaisesti tulisi pyrkiä vahvistamaan laatta raudoituksen avulla. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 93.)



Kuvio 11. Pistekuorman aiheuttama momentti laatan vapaassa nurkassa (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 93.)

Kuviosta 12 nähdään pistekuormien aiheuttamien halkeamien esiintymissuunnat ja -paikat. Se ilmoittaa myös momenttien keskinäisen suhteen. Keskellä laatta vaikuttava

pistekuorma aiheuttaa halkeamia laatan alapintaan joka suuntaan kuorman vaikutus-akselilta. Laatan vapaat reunat ja nurkat, ja myös saumakohdat muodostuvat määrääviksi laatan mitoituksessa. Monesti mitoittavaksi tapaukseksi muodostuu laatan vapaa nurkka, sillä siellä vaikuttaa taivutusmomentin lisäksi suuri vääntömomentti. Vapaiden reunojen ja nurkkien kohdalla halkeamat muodostuvat laatan pintaan. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 95.)



Kuvio 12. Pistekuormasta aiheutuvat laatan kriittiset halkeamat sekä momenttien keskinäiset suhteet (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 95.)

## 4 Laatan mitoituksen kulku Eurokoodin mukaan

Tässä kappaleessa käydään läpi laatan mitoituksen yksinkertaista tapausta, jossa kutistumissaumalliseen laattaan kohdistuu tasaisen kuormituksen lisäksi yksittäinen piste- tai pyöräkuorma. Tällaisen tapauksen mitoitus voidaan viedä läpi kokonaan käsin laskennalla, eikä rasituksien laskemiseen tarvita välttämättä tietokoneohjelmia. Laskentamalli perustuu Westergaardin kehittämiin kaavoihin. Laatan mitoittamista saumattomana ei käsitellä tässä mitoitusohjeessa. Mitoitusohjeiden mukaan luotu esimerkkilaskelma löytyy liitteenä 1.

### 4.1 Lähtötiedot

Maanvaraisen teräsbetoni-laatan mitoitus aloitetaan lähtötietojen keräämisellä. Ensimmäisenä tulee olla tiedossa, mihin seuraamus- ja toteutusluokkaan ko. laatta tullaan suunnittelemaan. Laatan teknisille tiedoille annetaan arvot, joilla laatan mitoitusta lähdetään kokeilemaan. Teknisiin tietoihin kuuluu mm. laatan paksuus, kutistumissaumattujen laattojen liikuntasaumaväli, käytettävä betoniteräslaatu sekä haluttu betonin lujuus. Osa näistä laatan teknisistä tiedoista voi muuttua laskennan edetessä, jos esimerkiksi huomataan, ettei laatta kestä halutun paksuisena. Tällöin laatan paksuutta joudutaan kasvattamaan.

Yksi oleellinen lähtötieto laatan laskennassa on siihen kohdistuvat kuormat. Kaikki mahdolliset laattaa rasittavat kuormat täytyy selvittää, ja niiden suuruus täytyy tietää. Kuormat voivat olla pistekuormia, viivakuormia tai tasaisia kuormia. Lopuksi täytyy olla vielä tiedossa alapohjarakenne, eli mitä laatan alusrakenteisiin kuuluu. Laatan alle voi tulla eriste ja eri paksuisia tasaus- ja täyttökerroksia, jotka kaikki vaikuttavat laatan alustäytön kantavuuden määrittämiseen.

## 4.2 Alustaluvun määrittäminen

Ensimmäisenä määritetään laatan alustäytön kantavuus alustaluvun avulla. Alustaluku voidaan laskea kaavalla 5. Perusmaan alustalukua  $k_m$  määritettäessä täytyy muistaa, että perusmaaksi luetaan joko häiriintymätön maa tai vähintään 1000 mm paksu tiivistetty täyttö (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 68).

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{1}{k_m}} \quad (5)$$

jossa

$k$  = alustaluku

$h_i$  = alustan eri kerrosten paksuus

$E_i$  = alustan eri kerrosten kantavuusmoduuli (täytöillä  $\geq 50 \text{ MN/m}^2$ )

$k_m$  = perusmaan alustaluku

## 4.3 Maksimimomenttien laskenta

Maksimimomenttien laskemiseksi täytyy ratkaista kuormituksesta aiheutuva suhteellinen kuormitusjakautuma  $a_k$ . Sen laskemiseksi täytyy ensin ratkaista muita muuttujia. Ensin ratkaistaan kuorman kuormitussäde  $r$ , joka kuvaa kuormituksen alan sädettä, kun ajatellaan sen olevan ympyrän muotoinen (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 89). Jos laattaa rasittaa pistekuorma, kuorman säde lasketaan kaavalla 6. Jos taas kuormitus on pyörästä aiheutuva, säde lasketaan kaavalla 7.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{1}{2}h} \quad (6)$$

jossa

$A$  = pistekuorman kuormitusala

$h$  = betonilaatan paksuus [m]

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi q}} + \frac{1}{2}h \quad (7)$$

jossa

$P$  = pyöräkuorma [kN]

$q$  = rengaspaine (yleensä 600-800 kN/m<sup>2</sup>) tai kosketuspaine

$h$  = betonilaatan paksuus [m]

Elastisen laatan jäykkyysäteen  $l_k$  laskemiseksi täytyy ensin ratkaista betonin kimmomoduuli  $E_{cm}$ , sekä lattian jäykkyys  $D$ . Betonin kimmomoduuli voidaan ratkaista kaavalla 8 ja lattian jäykkyys kaavalla 9.

$$E_{cm} = 22GPa \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} \quad (8)$$

jossa

$f_{cm}$  = betonin keskimääräinen puristuslujuus

$$D = \frac{E_{cm}d^3}{12} \quad (9)$$

jossa

$d$  = laatan hyötykorkeus

Elastinen laatan jäykkyysäde voidaan nyt laskea kaavalla 10. Jäykkyysäteen ja aikaisemmin ratkaistun kuorman kuormitusäteen avulla lasketaan nyt kaavaa 11 käyttäen momenttien laskemista varten tarvittava kuormitusjakautuma.

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} \quad (10)$$

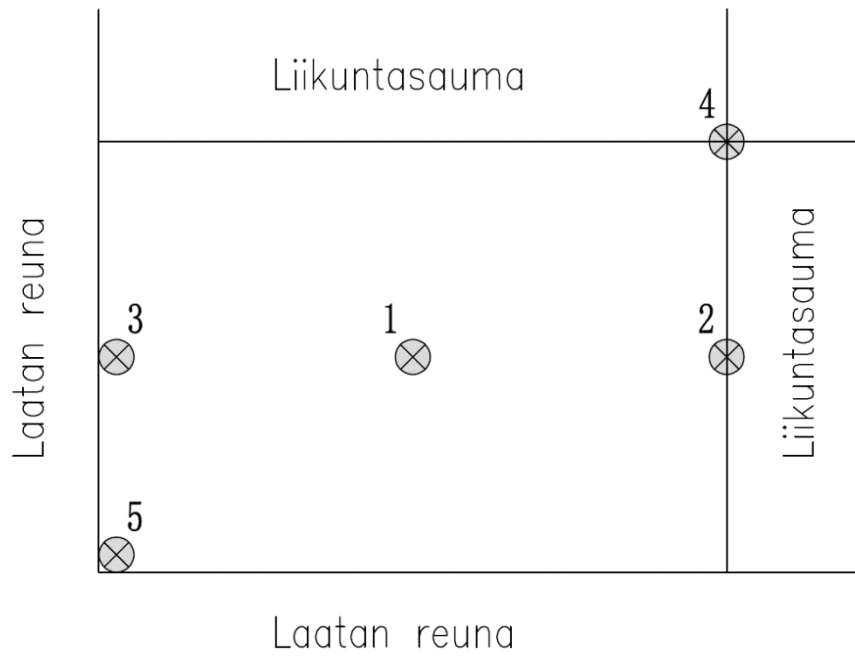
jossa

$k$  = alustaluku

$$a_k = \frac{r}{l_k} \quad (11)$$

Seuraavaksi voidaan siirtyä laskemaan laattaan vaikuttavia maksimimomentteja. Laskennassa tarkastellaan metrin levyistä kaistaa laatasta, joten momentit esitetään metriä kohden. Jos laatan kantava alustäyttö on koko laatan alueelta tasaisesti koonpuristuva, kuten tässä laskentamallissa oletetaan, tasaisten kuormien ei oleteta aiheuttavan laattaan taivutusrasituksia. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 88.)

Momentit lasketaan pistekuorman viidelle eri kuormituskohdalle kuvion 13 mukaisesti. Esitetyt kohdat laatasta poikkeavat toiminnaltaan toisistaan kuormitustilanteessa, joten jokaista kohtaa tulee tarkastella erikseen. Jokaisen tapauksen kohdalla on laskettava omilla kaavoillaan sekä maksimi- että minimimomentit, pois lukien saumojen ja laatan nurkassa joissa ei synny lainkaan positiivista momenttia. Näissä eri kuormitustapauksissa pistekuorma vaikuttaa laatan keskellä (ks. kaavat 12 ja 13), sauman keskellä (ks. kaavat 14 ja 15), laatan reunalla (ks. kaavat 16 ja 17), saumojen nurkassa (ks. kaavaa 18) tai laatan nurkassa (ks. kaava 19). (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 98.)



Kuvio 13. Pistekuorman eri kuormituskohdat laatussa

$$M_{1max} = +P(0,056 - 0,211 \log a_k) \quad (12)$$

$$M_{1min} = -0,02P \quad (13)$$

$$M_{2max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log a_k) \quad (14)$$

$$M_{2min} = -0,033P \quad (15)$$

$$M_{3max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log a_k) \quad (16)$$

$$M_{3min} = -0,066P \quad (17)$$

$$M_{4min} = -\frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6}) \quad (18)$$

$$M_{5min} = -\frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6}), \quad \text{kun } a_k \leq 0,5 \quad (19)$$

Momenttikaavojen avulla saadaan selville laatan vaikuttava maksimi- ja minimimomentti. Maksimimomentti, eli suurin positiivinen momentti, kuvaa laatan alapintaan kohdistuvaa vetorasitusta. Sen avulla laatta mitoitetaan murtorajatilassa ja määritetään laatan raudoitus. Minimimomentti on negatiivinen, ja se kuvaa sen sijaan laatan yläpintaan kohdistuvaa vetorasitusta. Sitä käytetään laatan halkeilutarkastelussa eli käyttöraajatilamitoituksessa.

#### 4.4 Kitkavoima

Kitkavoiman aiheuttamaa laatan keskeistä vetovoimaa laskettaessa määritetään ensin mahdollisista lämpötilaeroista johtuva lämpölaajeneminen  $\Delta L_1$ . Lämpölaajeneminen otetaan huomioon laskettaessa aikavaikutuskerrointa  $k_t$  (ks. kaava 20), joka vaikuttaa edelleen keskeisen vetovoiman määrittämiseen. Lämpölaajeneminen voidaan laskea kaavalla 21. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 100.)

$$k_t = \frac{\Delta L_1 + \Delta L_2}{\Delta L} \leq 1,0 \quad (20)$$

jossa

$\Delta L_2$  = kutistuma matkalla  $L_x$  hyötykuormituksen jälkeen

$$\Delta L \leq 1,5 \text{ mm}$$

$$\Delta L_1 = \alpha \times \Delta T \times L_x \quad (21)$$

jossa

$$\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$\Delta T = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$  laatan lämmitessä yläosastaan

$\Delta T = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$  laatan jäähtyessä yläosastaan



$\Delta T = 8\text{ °C}$  tasalämpimällä rakennuksella

$L_x = 0,5L \Rightarrow$  jos laatta pääsee kutistumaan molemmilta reunoiltaan

$L_x = L \Rightarrow$  jos jokin estää toisen reunan kutistumisliikkeen

$L$  = liikuntasaumaväli

Laatan keskeinen vetovoima eli kitkavoima voidaan määrittää nyt kaavan 22 avulla. Laatan ja alustäytön välisen kitkavoiman aiheuttavat laattaan kohdistuvat tasaiset kuormat. Voidaan olettaa, että koko laatan alueella kitkavoima on lähes vakio. Kaavassa käytettävä kitkakerroin  $\mu_F$  kuvaa laatan ja alustäytön välisen kitkan suuruutta. Kitkakerroin on sitä pienempi, mitä paremmin pinnat pääsevät liukumaan toisiaan vasten. Jos laatussa joudutaan käyttämään jostakin syystä paksunnoksia, muodostuu kitkakerroin suureksi. (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 100.)

$$N_k = (g + k_t \times q)L_x\mu_F \quad (22)$$

$N_k$  = Keskeisen vetovoiman ominaisarvo

$g$  = Laatan omapaino (+ pysyvä kuorma)

$q$  = Hyötykuorma

$\mu_F$  = kitkakerroin

Taulukko 8. Laatan ja alustan välinen kitkakerroin eri tapauksissa

$\mu_F$	=	1,0	kun laatan alla on tasainen hiekkakerros (20...40 mm), raekoko 0...8 mm
$\mu_F$	=	1,0	kun laatta valetaan solumuovieristeen päälle tai laatan alla on kaksi 0,15 mm muovikelmua
$\mu_F$	=	1,5	kun laatan alla on yksi 0,15 mm muovikeltu
$\mu_F$	=	2,0	kun laatan alla ei käytetä laakerointia
$\mu_F$	=	3,0	kun laatan alapinnassa on paksunnoksia, jotka estävät kutistumis- ja lämpöliikkeen

## 4.5 Laatan mitoitus murtorajatilassa

Laatan mitoituksessa käytetään aikaisemmin esitettyä momentin maksimiarvoa  $M_{k,max}$  sekä keskeisen vetovoiman ominaisarvoa  $N_k$ , eli kitkavoimaa. Mitoittavat rasitukset saadaan kertomalla ne seuraamusluokan mukaisilla osavarmuuskertoimilla. Mitoittavien rasitusten avulla saadaan määritettyä laattaan tarvittava määrä terästä.

Maksimirasitiuksien avulla määritetään laatan mitoitusmomentti  $M_{sd}$ , joka ratkaistaan kaavalla 23. Siinä otetaan huomioon laatan keskeisen vetovoiman ja raudoituksen epäkeskisyyden mahdollinen vaikutus momentin arvoon. Keskeinen vetovoima ei aiheuta momenttia, jos raudoitus on täysin keskeinen. Jos raudoitus on laatan keskilinjän alapuolella, keskeinen vetovoima vaikuttaa pienentävästi momentin arvoon. Jos se sitä vastoin on laatan keskilinjän yläpuolella, se lisää kokonaismomenttia.

$$M_{sd} = M_{Ed} - N_{Ed}a_s \quad (23)$$

Kun mitoittava momentti tiedetään, voidaan ratkaista laatan suhteellinen momentti  $\mu$ , sekä tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus  $\beta$ . Nämä arvot lasketaan yleisten vetorasitettujen betonirakenteiden mitoitusohjeiden mukaisesti kaavoilla 24 ja 25. Laatan raudoituksen määrittämiseen voidaan käyttää nyt kaava 26. Kaava ottaa huomioon laattaan kohdistuvan mitoitusmomentin vaikutuksen lisäksi keskeisen vetovoiman aiheuttaman rasituksen. Jos laatta on raudoitettu sekä ylä- että alapinnastaan, täytyy rasitukset ja vaadittu raudoituksen määrä tarkastella molemmille pinnoille erikseen. Ylä- ja alapinnastaan raudoitetun laatan raudoituksen määrittämisessä voidaan myös ottaa huomioon terästen puristuslujuus ja sen vaikutus laatan puristettulla pinnalla. Julkaisusta BY45/BLY7 Betonilattiat 2014 löytyy periaatteet tämän laskemiseksi.

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} \quad (24)$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (25)$$

$$A_s = \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \quad (26)$$

jossa

$d$  = laatan hyötykorkeus (jos laatan paksuus  $\leq 120\text{mm}$  ja rauditus keskeinen,  $d = 0,5h$ )

$b$  = laattakaistan leveys (1m)

#### 4.6 Laatan mitoitus käyttörajatilassa

Laattaa tulee seuraavaksi tarkastella käyttörajatilassa. Käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan laatan halkeilukapasiteettia sekä mahdollista halkeaman ominaislujuutta. Jos laskennassa selviää, että laatta tulee halkeamaan rasituksen vaikutuksesta, täytyy yläpinnan halkeamaleveyden pysyä taulukossa 3 annetun halkeamaleveyden ylärajan sisällä laatalle annetun halkeamaleveysluokan mukaan.

Laskennan mitoittavana rasituksena käytetään keskeisen vetovoiman lisäksi laattaan kohdistuvaa suurinta negatiivista momenttia, joka aiheuttaa halkeamia laatan yläpintaan. Yleensä suurin negatiivinen momentti muodostuu tilanteessa, jossa pistekuorma vaikuttaa laatan vapaassa nurkassa. Vapaassa nurkassa tulee aina muistaa, että siellä laattaan kohdistuva vääntömomentti kasvaa merkittäväksi, ja se täytyy ottaa huomioon mitoituksessa. Tapauksessa täytyy määrittää vääntömomentin vaikutuksella lisätty mitoitusmomentti  $m_{xt}$ , joka voidaan laskea kaavalla 27. Koska Wester-

gaardin laskentakaavoissa vääntömomentin laskemiseksi ei ole määritetty omaa kaavaa, ja vääntömomentin laskeminen käsin on erittäin haastavaa, käytettiin tässä tapauksessa mitoitusmomentin määrittämiseen yksinkertaistusta. Kuten kuviosta 11 voidaan nähdä, karkeasti ottaen vääntömomentti kaksinkertaistaa mitoitusmomentin. Siksi laskennassa voidaankin käyttää mitoitusmomenttina likiarvon antavaa kaksinkertaistettua vääntömomenttia. (BY16 Suunnittelun sovellusohjeet, 61; BY45/BLY7 Betonilattiat 2002, 52.)

$$m_{xt} = m_x + 0,9m_{xy} \quad (27)$$

jossa

$m_x$  = taivutusmomentti x-suunnassa

$m_{xy}$  = vääntömomentti

Seuraavaksi määritetään laatan taivutusvastus  $W_I$  kaavaa 28 käyttäen. Taivutusvastusta tarvitaan halkeilumomentin  $M_{R,cr}$  laskemiseen. Jotta halkeilumomentti voidaan laskea, täytyy tietää myös betonin tehollinen vetolujuus  $f_{ct,eff}$ . tehollisen vetolujuuden arvona voidaan käyttää betonin keskimääräistä vetolujuutta  $f_{ctm}$  tai sitä pienempää arvoa, jos oletetaan että halkeilua syntyy ennen 28 vuorokautta (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 102). Halkeilumomentti voidaan nyt laskea kaavan 29 avulla.

$$W_I = \frac{bh^2}{6} \quad (28)$$

$$M_{R,cr} = f_{ct,eff} W_I \quad (29)$$

jossa

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28vrk

Nyt kun halkeilumomentti on laskettu, voidaan määrittää laatan halkeilukapasiteetti kaavaa 30 käyttäen. Keskeisenä vetovoiman mitoitusarvona  $N_{Ek}$  voidaan käyttää puolta keskeisen vetovoiman ominaisarvosta  $N_k$ , sillä laatan nurkka ja reuna-alueella vetovoiman oletetaan olevan noin puolet maksimiarvosta (BY45/BLY7 Betonilattiat 2002, 52). Momentin mitoitusarvona  $M_{Ek}$  käytetään aikaisemmin määritettyä vääntömomentin vaikutuksella lisättyä mitoitusmomenttia  $m_{xt}$ . Jos halkeilukapasiteetti pysyy pienempänä kuin 1, tarkoittaa se sitä, että laatta ei halkea yläpinnastaan. Tällöin käyttörajatilatarkastelua ei tarvitse jatkaa pidemmälle. Jos arvo on kuitenkin suurempi kuin 1, täytyy suorittaa halkeaman ominaisleveyden määrittäminen. Ominaisleveyden määrittämisellä tarkistetaan, ettei syntyvän halkeaman leveys ylitä sallittua rajaa. Keskeisesti raudoitetulla laatalle tilanne on erilainen. Jos halkeilukapasiteetti osoittaa laatan halkeavan, täytyy laattaa tai betonilaatua muuttaa niin, että saadaan laatta kestäväksi halkeilematta. Keskeisesti raudoitettu laatta täytyy säilyä halkeilemattomana, koska yläpinnassa ei ole raudoitusta joka ottaisi betonin haljettua vastaan vetorasitukset.

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \leq 1 \quad (30)$$

jossa

$A_c$  = Laatan poikkileikkauksen pinta-ala /m

Ylä- ja alapinnastaan raudoitetulle laatalle täytyy siis määrittää halkeamakapasiteetin ylittyessä halkeaman ominaisleveys  $w_k$ . Ominaisleveys voidaan laskea kaavalla 31. Laatan alapinnassa halkeamaleveys ei saa olla suurempi kuin 0,3 mm (BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 103). Ensin täytyy kuitenkin määrittää kaavasta arvo  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ , joka lasketaan kaavan 32 avulla. Jos halkeamaleveys muodostuu laskennan mukaan pienemmäksi kuin tarkistellun pinnan sallittu maksimileveys, laatan raudoitus on riittävä. Halkeamaleveyden ylittäessä sallitun arvon täytyy raudoituksen määrää lisätä ja suorittaa tarkastelu uudestaan.

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (31)$$

jossa

$s_{r,max}$  = halkeamavälin maksimiarvo

$\varepsilon_{sm}$  = raudoituksen keskimääräinen venymä

$\varepsilon_{cm}$  = betonin keskimääräinen venymä halkeamien välillä

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_s \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (32)$$

jossa

$\sigma_s$  = vetorauδοituksessa vaikuttava jännitys, kun poikkileikkauksen oletetaan halkeilleen

$k_t$  = kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin (lyhytaikaiset 0,6, pitkäaikaiset 0,4)

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28vrk

$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$

$\alpha_e = E_s/E_{cm}$

#### 4.7 Laatan lävistyskapasiteetin laskenta

Mitoituksessa täytyy tarkastaa myös laatan lävistyskapasiteetti. Lävistyskapasiteettitarkastelussa selvitetään, kestäkö laatta annettua pistekuormaa lävistyksen suhteen. Laskennassa voidaan käyttää laatan hyötykorkeuden  $d$  arvona laatan paksuutta  $h$ , jos raudoitus on keskeinen. Tällöin raudoitusasteena käytetään arvoa  $p = 0$ .

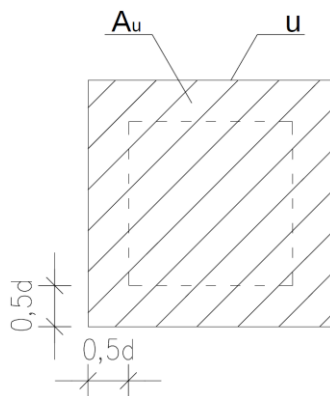
(BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, 102.)

Laskenta aloitetaan määrittämällä pistekuorman pinta-alan reunasta etäisyydellä  $0,5d$  olevan leikkauksen rajoittama pinta-ala  $A_u$  (ks. kuvio 14). Tämän avulla voidaan nyt laskea  $\beta$  kaavalla 33. Jos pistekuormalla ei ole epäkeskisyyttä,  $\beta$ :n arvoksi voidaan antaa suoraan  $0,4$ .

$$\beta = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5e}{\sqrt{A_u}}} \quad (33)$$

jossa

$e$  = Lävistysvoiman epäkeskisyyden laskettuna leikkautuvan alueen painopisteestä



Kuvio 14. Kuorman lävistyksen laskenta-ala ja -piirin määrittäminen

Jos laatta on raudoitettu molemmista pinnoista, täytyy seuraavaksi määrittää laatan raudoitussuhte  $\rho$  kaavaa 34 käyttäen. Raudoitussuhte lasketaan toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa etäisyydellä  $0,5d$  pistekuorman pinta-alan reunasta sijaitsevista poikkileikkauksissa olevien suhteellisten teräspinta-alojen  $\rho_x$  ja  $\rho_y$  avulla. Raudoitussuhteen maksimiarvo on  $8 \text{ ‰}$ . (RT RakMK-21253, 19.)

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 0,008 \quad (34)$$

Lopuksi täytyy vielä laskea pistekuorman pinta-alan reunasta etäisyydellä  $0,5d$  olevan leikkauksen rajoittama piiri  $u$  (ks. kuvio 14). Kun piirin pituus on saatu määritettyä, päästään lopulta ratkaisemaan laatan lävistyskapasiteetti  $V_c$  kaavan 35 avulla. Lävistyskapasiteettia verrataan nyt pistekuormaan. Jos lävistyskapasiteetti on suurempi kuin mitoituksessa käytetty pistekuorma, laatta kestää kuorman lävistyksen osalta.

$$V_c = k\beta(1 + 50\rho)udf_{ctd} \quad (35)$$

jossa

$$k = 1,6-d \text{ [m]} \geq 1, \text{ kun } \rho_c \geq 2400\text{kg/m}^3$$

$$k = 1, \text{ kun } 1800\text{kg/m}^3 \leq \rho_c < 2400\text{kg/m}^3$$

$$k = 0,85, \text{ kun } \rho_c < 1800\text{kg/m}^3$$



## 5 Johtopäätökset

### 5.1 Tulokset

Laatan mitoituksesta laadittiin laskentaohje, jossa käydään vaihe vaiheelta läpi kaikki mitoituksen vaatimat toimenpiteet ja laskennat. Ohjeen pääasiallisena lähteenä käytettiin julkaisua BY45/BLY7 Betonilattiat 2014, joka on ainoa suomalainen maanvaraisen betonilaatan mitoitukseen tarkemmin keskittyvä kirja. Ulkomaisia kyseiseen aiheeseen keskittyviä julkaisuja ei onnistuttu löytämään. Ohje pyrittiin tekemään mahdollisimman helposti ymmärrettäväksi ja johdonmukaiseksi. Sen avulla laatan mitoitus käsin laskennalla helpottuu ja nopeutuu, koska vaadittavat laskennan vaiheet ja toimenpiteet on kerätty mitoituksen vaatimaan järjestykseen. Lisäksi toimenpiteitä on pyritty selittämään mitoituksen ymmärtämiseksi ja havainnollistamaan kuviodien ja taulukoiden avulla.

Tämän lisäksi mitoitusohjeen pohjalta laadittiin esimerkkilaskelma, jossa mitoitetaan satunnaisesti valituilla lähtöarvoilla keskeisesti raudoitettu laatta. Liitteen 1 esimerkkilaskelma on tehty 120 mm paksulla laattalla, jota kuormittaa tasaisen hyötykuorman lisäksi pistekuorma. Yli 120 mm paksusta laatasta, joka vaatisi sekä ylä- että alapintaan raudoituksen, ei toteutettu esimerkkilaskelmaa. Käytännössä sen mitoitus eroaa ainoastaan siinä, että rasitukset ja raudoituksen määrä täytyy tarkastella molemmissa pinnoissa erikseen, sekä laatan halkeilukapasiteetin ylittyessä täytyy suorittaa halkeamaleveystarkastelu.

Mitoitukseen tutustumisen ja mitoitusohjeen laatimisen jälkeen laadittiin maanvaraisen laatan mitoitukseen liitteen 2 mukainen Excel-laskentataulukko, jonka avulla laatta voidaan helposti ja nopeasti mitoittaa. Taulukko pohjautuu samaan laskentamalliin, jota ohjeistuksen laatimisessa on käytetty. Koska keskeisesti raudoitettu ja ylä- ja alapinnastaan raudoitettu laatta eroavat hieman mitoitukseltaan, katsottiin

järkeväksi luoda kummallekin oma taulukko. Taulukosta pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä ja helposti käytettävä. Valmiin laskentataulukon avulla käsin laske-  
malla todella työläs ja monimutkainen laatan mitoitus pystytään suorittamaan to-  
della nopeasti.

Kun taulukolla aletaan mitoittamaan laattaa, tulee ensimmäisenä täyttää lähtötiedot. Lähtötietoja ovat mm. seuraamusluokka, käytettävä betoni ja sen eri lujuusarvot, be-  
toniteräksen lujuusarvot, laattaan kohdistuva tasainen hyötykuorma ja piste- tai pyö-  
räkuoma, laatan liikuntasaumaväli, alustäyttörakenne jne. Kaikki lähtöarvot, jotka tu-  
lee syöttää taulukkoon, on merkitty keltaisella. Kun kaikki lähtöarvot on syötetty,  
taulukko laskee väliarvot ja tulokset sinisiin ruutuihin. Tuloksena taulukko ilmoittaa,  
kuinka paljon annetuilla lähtöarvoilla laatta vaatii raudoitusta ja ylittyykö halkeilu- tai  
lävistyskapasiteetti. Jos kyseessä on ylä- ja alapinnastaan raudoitettu laatta, taulukko  
laskee myös halkeaman ominaisleveyden. Tämän jälkeen lähtötietoja voidaan muut-  
taa, jos haluttua tulosta ei saavuteta.

Aikaan saatujen mitoituksen apuvälineiden avulla haluttiin lopuksi luoda pistekuor-  
mataulukko (ks. liite 3). Taulukossa on ilmoitettu 80, 100, 120 ja 150 mm paksuille  
laatoille tiettyjä raudoitusverkkoja käytettäessä suurimmat piste- ja pyöräkuormat  
laatan nurkassa ja reunalla, jotka se kestää halkeilematta. Raudoitusverkoiksi tauluk-  
koon on valittu T8k200, T8k150, T10k200 sekä T10k150 verkot. Koska laatan mitoi-  
tuksessa tarvitaan paljon erilaisia lähtöarvoja, täytyi taulukkoon valita satunnaiset ar-  
vot. Alapohjarakenteeksi ja täyttöjen kantavuusarvoiksi valittiin samat arvot kuin esi-  
merkkilaskelmassa on käytetty. Kaikki tärkeimmät käytetyt lähtöarvot on annettu  
taulukossa. Taulukoita tehtiin kaksi erilaista sillä erolla, että toisessa on käytetty ala-  
pohjarakenteessa eristettä ja toisessa ei. Tämä vaikuttaa jonkin verran rasituksiin ja  
sitä kautta kuorman sallittuun maksimiarvoon. Taulukon tarkoituksena oli saada apu-  
väline tilanteisiin, joissa tarvitsee nopeasti selvittää, kuinka paljon pistekuormaa jokin  
tietty laatta kestää. Tällaisia selvitystapauksia voi syntyä esimerkiksi tilanteessa, jossa  
seinäelementti tuetaan laatan pintaan elementtituella. Taulukosta voidaan saada  
suuntaa antavaa tietoa laatan kuormituskapasiteetille eri tilanteissa.

## 5.2 Pohdinta

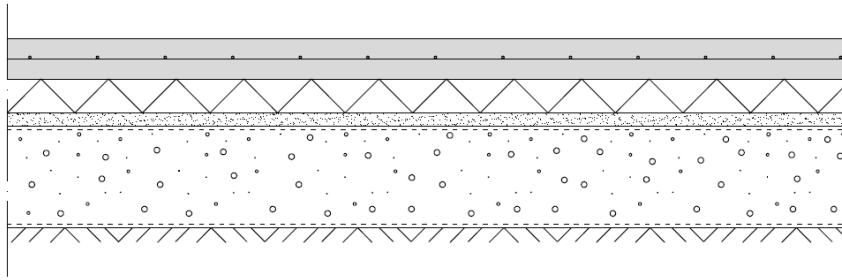
Maanvaraisen teräsbetonilaatan mitoitus täysin käsin laskennalla on melko monimutkainen prosessi. Laatan raudoituksen määrittämiseksi täytyy selvittää ensin useita eri muuttujia, jotka riippuvat mm. laatan perustana toimivan maapohjan ominaisuuksista, laattaan kohdistuvien voimien tyypistä ja paikasta, laatalle määritetyistä laatuvaatimuksista jne. Maapohjan erilaiset ominaisuudet tekevät myös laatan momenttirasituksien määrittämisestä paljon hankalampaa kuin esimerkiksi välipohjarakenteilla, joissa on selkeät tuet ja niiden väliset vapaat alueet. Maapohja kantaa laattaa sen koko alueelta, jolloin siihen kohdistuvat voimat ja niistä syntyvät momenttirasitukset riippuvat hyvin paljon maapohjan kantavuudesta ja painumasta. Yleensä välipohjarakenteiden momenttirasituksia laskettaessa käsin voidaan käyttää yleisiä mekaniikan momenttikaavoja, joilla saadaan tarkat arvot rasituksista. Maanvaraisen laatan kohdalla täytyy momenttien laskentaan käyttää laskentakaavoja, jotka ovat yleensä kokeellisesti määritettyjä likiarvon antavia kaavoja.

Mitoitusohjeessa käytettiin Westergaardin kehittämiä laskentakaavoja, joilla voidaan määrittää pistekuormasta aiheutuvat momenttirasitukset ohjeistuksessa esitetyissä kohdissa. Näissä kaavoissa ei oteta huomioon vääntömomentista aiheutuvaa lisäystä kokonaismomenttiin, ja toisaalta saadut tulokset ovat myös hieman varman päälle laskettuja (BY45/BLY7 Betonilattiat 2002, 18). Vääntömomentin vaikutuksen puuttuminen kaavoista osoittautui ongelmalliseksi, sillä laatan nurkka-alueilla vääntömomentti on yleensä jopa suurempi kuin taivutusmomentti ja se on otettava mitoituksessa huomioon. Käyttörajatilassa mitoitettaessa tarkastellaan laatan yläpinnan halkeilukapasiteettiä. Yleensä laatan yläpinnan suurin momentti muodostuu juuri nurkka-alueelle. Taivutus- ja vääntömomentin yhteisvaikutuksesta syntyvä mitoittava momentti tulisi laskea kaavalla 27, mutta tämä vaatisi ensin vääntömomentin määrittämistä tietokoneen laskentaohjelmilla. Vääntömomentin laskemiseksi ei ole olemassa yksinkertaistettua laskentakaavaa. Kuviosta 11 voidaan havaita, että mitoitusmomentti muodostuu noin kaksinkertaiseksi taivutusmomenttiin nähden. Siksi tässä mitoitusohjeessa käytettiin mitoitusmomenttina kaksinkertaistettua taivutusmomenttia. Sen avulla saadaan suuntaa antava mitoitusmomentti.

Käsin laskennalla voidaan mitoittaa laatta vain hyvin yksinkertaisissa kuormitustapauksissa. Laskennassa tutkitaan tasaisen viivakuorman ja yksittäisten piste- tai pyöräkuormien vaikutusta laatan raudoituksen määrään. Sen avulla ei voida mitoittaa laattaa esimerkiksi viivakuormille tai kahdelle lähekkäiselle pistekuormalle. Jos piste-kuormat ovat kuitenkin kuvion 8 mukaisesti korkeintaan  $2 \times h$  etäisyydellä toisistaan, ne voidaan mitoittaa yhtenä pistekuormana, jolloin käsin laskennalla mitoittaminen onnistuu tässä tapauksessa.

Yksi aika paljon epävarmuutta laskentaan tuova tekijä on maan kantavuutta kuvaavan alustaluvun määrittäminen. Mitoitukseen on hyvin harvoin saatavilla paikanpäällä suoritettuihin mittauksiin pohjautuvia muodonmuutosmoduuleja. Jotta alustaluku voitaisiin määrittää tarkasti, täytyisi rakennuspaikalta mitata perusmaan alustaluku sekä kaikkien täyttökerrosten muodonmuutosmoduuli. Lisäksi arvot voivat vaihdella paikasta riippuen, joten mittauksia tulisi tehdä useista kohdista tulevaa laatan pohjaa. Käytännössä tällaiset mittaukset on siis erittäin hankala toteuttaa. Perusmaan alustaluvuille ja eri maalajeille on laadittu taulukot (ks. taulukko 6 ja 7), joissa on esitetty eri aineksille alustaluvun ja muodonmuutosmoduulin vaihteluvälit. Käytännössä näitä taulukkoarvoja tulisi käyttää, jos konkreettisia mittaustuloksia ei ole saatavilla.

Kuten sivuilla 21 - 22 on mainittu, tutkimusten mukaan alustaluvun vaikutukset laatan paksuuteen ja taivutusjännityksiin ovat pieniä. Asiaa tarkasteltiin vielä laskentataulukon avulla liitteen 1 esimerkkilaskelman lähtötiedoilla. Kuviossa 15 on kuvattu esimerkkilaskelmassa käytetty alapohjan rakenne, sekä ilmoitettu kunkin alustäytön taulukoiden 6 ja 7 mukaiset muodonmuutosmoduulien ja perusmaan alustaluvun vaihteluvälit. Laatta kokeiltiin mitoittaa alustäytöjen ja perusmaan kantavuuden alaraja- sekä yläraja-arvoilla. Lisäksi laatta mitoitettiin esimerkkilaskelman mukaisilla kantavuusarvoilla käyttäen eristettä ja toisaalta jättämällä se kokonaan pois. Tulokset on ilmoitettu taulukossa 9.



- 120mm teräsbetonilaatta
- 100mm XPS-eriste (EPS100 lattia  $E = 8 \text{ MN/m}^2$ )
- 40mm tasaushiekka, tiivistetty ( $E = 40 \dots 80 \text{ MN/m}^2$ )
- kuitukangas
- 300mm salaojasora, tiivistetty ( $E = 100 \dots 200 \text{ MN/m}^2$ )
- kuitukangas
- perusmaa, hiekka (häiriintymätön maapohja tai  $\geq 1000 \text{ mm}$  tiivistetty täyttö) ( $k = 30 \dots 80 \text{ MN/m}^3$ )

Kuvio 15. Liitteen 1 esimerkkilaskelman alapohjarakenne ja kantavuusarvojen vaihteluvälit

Taulukko 9. Liitteen 1 esimerkkilaskelman mitoitus tulokset eri kantavuusarvoja käytettäessä

	alustaluku, $k$	Taivutusmomentti, $M_{k,max}$	Vaadittu raudoituksen määrä, $A_s$
Kantavuuden alaraja-arvoilla	$26,8 \text{ MN/m}^3$	$9,23 \text{ kNm/m}$	$517 \text{ mm}^2/\text{m}$
Kantavuuden yläraja-arvoilla	$69,0 \text{ MN/m}^3$	$7,77 \text{ kNm/m}$	$426 \text{ mm}^2/\text{m}$
Eristeellä	$34,7 \text{ MN/m}^3$	$8,82 \text{ kNm/m}$	$491 \text{ mm}^2/\text{m}$
Ilman eristettä	$61,3 \text{ MN/m}^3$	$7,95 \text{ kNm/m}$	$437 \text{ mm}^2/\text{m}$

Tuloksista nähdään, että käytettäessä kaikille täytöille sekä perusmaalle kantavuuden alaraja-arvojen sijaan yläraja-arvoja, alustaluku muuttuu jopa noin 2,57 -kertaiseksi. Vaikka muutos alustalukuun on näin suuri, ei muutokset taivutuslujuuteen ja raudoituksen määrään ole suhteessa läheskään niin merkittäviä. Taivutusmomentti pienenee noin 16 % ja raudoituksen määrä puolestaan pienenee noin 18 %. Tulokset vahvistavat selvästi aikaisemmin mainittujen tutkimustulosten oikeellisuuden. Pienillä

virheillä kantavuusarvoissa ei ole suurempaa merkitystä laatan mitoituksen lopputulokseen. Tuloksista nähdään lisäksi eristeen vaikutus kantavuusarvoihin. Koska eristeen muodonmuutosmoduuli on melko pieni, jo 100 mm paksu eristekerros vaikuttaa suuresti alustalukuun. Kun rakenteeseen lisätään eristekerros, alustaluku muuttuu noin 1,77 kertaa pienemmäksi. Tästä johtuen taivutusmomentti kasvaa noin 11 % ja raudoituksen määrä kasvaa noin 12 %. Tämän takia eristeen tarpeellisuuteen sekä eristekerroksen paksuuteen onkin aina kiinnitettävä erityistä huomiota.

## Lähteet

BLY-14. 2012. Betonilattiat kortisto. Suomen Betonilattiayhdistys Ry:n julkaisema ohjeistus. Viitattu 3.3.2016. <http://www.bly.fi/File/BLY-14.pdf?rnd=1356602833>

BY16. 1984. Suunnittelun sovellusohjeet. Julk. Suomen betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto.

BY45/BLY7. 2002. Betonilattiat 2002. Julk. Suomen betoniyhdistys ja Suomen betonilattiayhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto.

BY45/BLY7. 2014. Betonilattiat 2014. Julk. Suomen betoniyhdistys ja Suomen betonilattiayhdistys. Helsinki: BY-koulutus.

Hietala, J. 2011. Betonilattioiden kutistuman ja halkeilun hallinta. Betoni, 2011, 3, 56 - 58. Viitattu 5.3.2016.  
[http://issuu.com/kivirakentaminen/docs/bet1103\\_koko\\_lehti/59?e=9216543/30240724](http://issuu.com/kivirakentaminen/docs/bet1103_koko_lehti/59?e=9216543/30240724)

Leskelä, M. 2008. BY210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008. Julk. Suomen betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto ja Suomen rakennusmedia.

Matsinen, M. 2012. Betonilattioiden suunnittelusta ja toteutuksesta. Betoni, 2012, 1, 30 - 37. Viitattu 5.3.2016.  
[http://issuu.com/kivirakentaminen/docs/bet1201\\_koko\\_lehti/15?e=9216543/30196391](http://issuu.com/kivirakentaminen/docs/bet1201_koko_lehti/15?e=9216543/30196391)

RIL 132-2000. 2000. Talonrakennuksen maarakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RT RakMK-21253. 2004. Betonirakenteet ohjeet 2005. Ohjetiedosto. Rakennustieto. Viitattu 13.3.2016. <https://www.rakennustieto.fi/>

Ruohomäki, J., Jormalainen, P., Pärssinen, V., Saarikivi, E. & Söderholm, K. 1997.  
BY206 Raudoitustyöt. Helsinki: Rakennustieto.



## Liitteet

### Liite 1. Esimerkkilaskelma

#### Maanvaraisen teräsbetoni- ja laatan mitoitus

#### Keskeinen raudoitus

##### Lähtötiedot

Seuraamusluokka	2
Toteutusluokka	2
Laatan paksuus, $h$	120 mm
Betonin lujuus	C30/37
Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo, $f_{cd}$	17 N/mm <sup>2</sup>
Betonin keskimääräinen vetolujuus, $f_{ctm}$	2,9 N/mm <sup>2</sup>
Betonin vetolujuuden mitoitusarvo, $f_{ctd}$	1,33 N/mm <sup>2</sup>
Teräs	B500B
Teräksen myötölujuuden mitoitusarvo, $f_{yd}$	435 N/mm <sup>2</sup>
Laatan omapaino, $g_k$ (kuormia)	3,0 kN/m <sup>2</sup> (ei muita pysyviä kuormia)
Hyötykuorma, $q_k$	5,0 kN/m <sup>2</sup>
Pistekuorma, $P$	30,0 kN
Pistekuorman kuormitusala, $A$	0,04 m <sup>2</sup> (0,2m x 0,2 m)
Kitkakerroin (laatta/alusta), $\mu_F$	1,0
Liikuntasaumaväli	4,0m

AP rakenne

- Teräsbetonilaatta 120 mm
- EPS100 lattia
- Tasaushiekka 40 mm
- Salaojasora 300 mm
- Perusmaa, hiekka (häiriintymätön maapohja tai  $\geq 1000$  mm tiivistetty täyttö)

1. Alustaluvun määrittäminen

Alustäyttöjen tiiveys- ja kantavuusarvojen tulee täyttää laatuluokka 1:n vaatimukset, jotka löytyvät kirjasta RIL 132. Laatuluokka 1:ssä kaikkien alustäyttöjen on oltava kantavuusarvoltaan vähintään  $50 \text{ MN/m}^2$ .

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \frac{1}{k_m}} = \frac{1}{\frac{0,1 \text{ m}}{8 \text{ MN/m}^2} + \frac{0,04 \text{ m}}{50 \text{ MN/m}^2} + \frac{0,3 \text{ m}}{100 \text{ MN/m}^2} + \frac{1}{80 \text{ MN/m}^3}} = 34,7 \text{ MN/m}^3$$

$k$  = alustaluku

$h_i$  = alustan eri kerrosten paksuus

$E_i$  = alustan eri kerrosten kantavuusmoduuli (täytöillä  $\geq 50 \text{ MN/m}^2$ )

$k_m$  = perusmaan alustaluku

2. Maksimimomenttien laskenta (positiiviset ja negatiiviset)

Lasketaan suhteellisen kuormitusjakautuman  $a_k$  laskemiseksi tarvittavat arvot.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{1}{2}h} = \sqrt{\frac{0,04 \text{ m}^2}{\pi} + \frac{1}{2} \times 0,12 \text{ m}} = 0,173 \text{ m}$$

$r$  = pistekuorman säde

$A$  = pistekuorman kuormitusala

$h$  = betonilaatan paksuus [m]

$$E_{cm} = 22GPa \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22GPa \times \left(\frac{38MN/m^2}{10}\right)^{0,3} = 32800MN/m^2$$

$E_{cm}$  = Betonin kimmomoduuli

$f_{cm}$  = betonin keskimääräinen puristuslujuus

$$D = \frac{E_{cm}d^3}{12} = \frac{32800MN/m^2 \times (0,102m)^3}{12} = 2,9MNm$$

$D$  = Lattian jäykkyys

$d$  = laatan hyötykorkeus (jos keskeinen raudoitus, jäykkyyttä laskettaessa =>  $d = 0,85h$ )

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} = \sqrt[4]{\frac{2,9MNm}{34,7MN/m^3}} = 0,538m$$

$l_k$  = Elastinen laatan jäykkyyssäde

$$a_k = \frac{r}{l_k} = \frac{0,173m}{0,538m} = 0,322$$

$a_k$  = Suhteellinen kuormitusjakautuma

Lasketaan maksimimomentit (/m). Jos laatan kantava alustäyttö on koko laatan alueelta tasaisesti kokoonpuristuva, kuten tässä esimerkissä oletetaan, tasaisten kuormien ( $g$ ,  $q$ ) ei oleteta aiheuttavan laattaan taivutusrasituksia.

### Tapaus 1.

Pistekuorma laatan keskellä

$$M_{1k,max} = +P(0,056 - 0,211 \log a_k)$$

$$M_{1k,max} = +30,0 \text{ kN} \times (0,056 - 0,211 \times \log 0,322) = +4,80 \text{ kNm/m}$$

$$M_{1k,min} = -0,02P$$

$$M_{1k,min} = -0,02 \times 30,0 \text{ kN} = -0,60 \text{ kNm/m}$$

### Tapaus 2.

Pistekuorma sauman keskellä

$$M_{2k,max} = +P(0,049 + 0,015a_k - 0,263 \log a_k)$$

$$\begin{aligned} M_{2k,max} &= +30,0 \text{ kN} \times (0,049 + 0,015 \times 0,322 - 0,263 \times \log 0,322) \\ &= +5,50 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$M_{2k,min} = -0,033P$$

$$M_{2k,min} = -0,033 \times 30,0 \text{ kN} = -0,99 \text{ kNm/m}$$

### Tapaus 3.

Pistekuorma laatan reunalla

$$M_{3k,max} = +P(0,013 + 0,068a_k - 0,526 \log a_k)$$

$$\begin{aligned} M_{3k,max} &= +30,0 \text{ kN} \times (0,013 + 0,068 \times 0,322 - 0,526 \times \log 0,322) \\ &= +8,81 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$M_{3k,min} = -0,066P$$

$$M_{3k,min} = -0,066 \times 30,0 \text{ kN} = -1,98 \text{ kNm/m}$$

Tapaus 4.

Pistekuorma saumojen nurkassa

$$M_{4k,min} = -\frac{P}{8}(1 - 0,74a_k^{0,6})$$

$$M_{4k,min} = -\frac{30,0kN}{8} \times (1 - 0,74 \times 0,322^{0,6}) = -2,34kNm/m$$

Tapaus 5.

Pistekuorma laatan nurkassa

$$M_{5k,min} = -\frac{P}{2}(1 - 1,23a_k^{0,6}), \quad \text{kun } a_k \leq 0,5$$

$$M_{5k,min} = -\frac{30,0kN}{2} \times (1 - 1,23 \times 0,322^{0,6}) = -5,65kNm/m$$

Maksimimomentit ovat:

$M_{k,max} = +8,81kNm/m$  (Laatan alapintaan kohdistuva vetorasitus, pistekuorma laatan reunalla)

$M_{k,min} = -5,65kNm/m$  (Laatan yläpintaan kohdistuva vetorasitus, pistekuorma laatan nurkassa)

### 3. Kitkavoiman laskenta

$$\begin{aligned} N_k &= (g + k_t \times q)L_x\mu_F = (3,0kN/m^2 + 1,0 \times 5,0kN/m^2) \times 0,5 \times 4,0m \times 1,0 \\ &= 16,0kN/m \end{aligned}$$

$N_k$  = Keskeisen vetovoiman ominaisarvo

$g$  = Laatan omapaino (+ pysyvä kuorma)

$q$  = Hyötykuorma

$k_t$  = aikavaikutuskerroin (1,0 => varmalla puolella)

$L$  = liikuntasaumaväli

$L_x = 0,5L$  => Jos laatta pääsee kutistumaan molemmilta reunoiltaan

=  $L$  => Jos jokin estää toisen reunan kutistumisliikkeen

$\mu_F$  = kitkakerroin

#### 4. Laatan mitoitus kutistumissaumoilla murtorajatilassa

Seuraamusluokassa 2 laatta mitoitetaan seuraavilla osavarmuuskertoimilla:

Tapaus 1.

- 1,3 x suurin muuttuva kuorma
- 1,0 x pysyvät kuormat
- Pakkovoimia ei huomioida

Tapaus 2.

- 1,0 x kaikki kuormat

Laatta mitoitetaan nyt seuraavilla arvoilla:

Maksimi momentti  $M_{k,max} = +8,81 \text{ kNm/m}$

Keskeisen vetovoiman ominaisarvo  $N_k = 16,0 \text{ kN/m}$

Tapaus 1. (Suurin muuttuva kuorma)

$$M_{Ed} = 1,3 \times M_{k,max} = 1,3 \times 8,81 \text{ kNm/m} = 11,45 \text{ kNm/m}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = M_{Ed} - N_{Ed} a_s = 11,45 \text{ kNm/m} - 0 \text{ kN/m} \times 0 \text{ m} = 11,45 \text{ kNm/m}$$

$a_s$  = raudoituksen keskikohdan etäisyys laatan keskilinjasta

$$\mu = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{11,45 \times 10^6 Nmm}{1000mm \times (60mm)^2 \times 17N/mm^2} = 0,187$$

b = laattakaistan leveys (1m)

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,187} = 0,209$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\beta b d f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,209 \times 1000mm \times 60mm \times \frac{17N}{mm}}{\frac{435N}{mm}} + \frac{0N}{\frac{435N}{mm}} \\ &= 490mm^2/m \end{aligned}$$

Tapaus 2. (Kaikki kuormat)

$$M_{Ed} = 1,0 \times M_{k,max} = 1,0 \times 8,81kNm/m = 8,81kNm/m$$

$$N_{Ed} = 1,0 \times N_k = 1,0 \times 16,0kN/m = 16,0kN/m$$

$$M_{sd} = 8,81kNm/m - 16,0kN/m \times 0m = 8,81kNm/m$$

$$\mu = \frac{8,81 \times 10^6 Nmm}{1000mm \times (60mm)^2 \times 17N/mm^2} = 0,144$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,144} = 0,156$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{0,156 \times 1000mm \times 60mm \times 17N/mm^2}{435N/mm^2} + \frac{16000N}{435N/mm^2} \\ &= 366mm^2/m + 37mm^2/m \end{aligned}$$

$$= 403mm^2/m$$

Tarvittava raudoituksen pinta-ala  $A_s = 490 \text{ mm}^2/\text{m}$

Valitaan raudoitukseksi => # T8 k100 ( $502 \text{ mm}^2/\text{m}$ )

### 5. Laatan mitoitus käyttörajatilassa => halkeilutarkastelu

Halkeilukapasiteetti

Tarkastellaan laatan nurkkaa, jossa suurin negatiivinen momentti.

$$N_{Ek} = 0,5 \times N_k = 0,5 \times 16,0 \text{ kN/m} = 8,0 \text{ kN/m}$$

$N_{Ek}$  = Laatan keskeinen vetovoima nurkissa ja laatan reunoilla (negatiivisen minimimomentin kohdalla)

Alla oleva kaava on yksinkertaistus kokonaismomentin laskemista varten. Tarkan arvon määrittämiseksi tulisi laskea maksimi vääntömomentti ja laskea mitoittava momentti kaavalla:  $m_{xt} = m_x + 0,9 \times m_{xy}$ .

$$M_{Ek} = 2 \times M_{k,min} = 2 \times 5,65 \text{ kNm/m} = 11,30 \text{ kNm/m}$$

Lasketaan halkeilumomentti  $M_{R,cr}$ :

$$W_I = \frac{bh^2}{6} = \frac{1000 \text{ mm} \times (120 \text{ mm})^2}{6} = 24 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$M_{R,cr} = f_{ct,eff} W_I = 2,9 \text{ N/mm}^2 \times 24 \times 10^5 \text{ mm}^3 = 6960000 \text{ Nmm} = 6,96 \text{ kNm}$$

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  tai sitä pienempi, jos halkeilun odotetaan tapahtuvan ennen 28vrk



Halkeilukapasiteetti voidaan ratkaista nyt seuraavalla kaavalla:

$$\frac{N_{Ek}}{A_c f_{ctm}} + \frac{M_{Ek}}{M_{R,cr}} \leq 1$$

$$\frac{8,0kN}{1,0m \times 0,12m \times 2900kN/m^2} + \frac{11,30kNm}{6,96kNm} = 1,65$$

$M_{Ek}$  = Taivutus- ja vääntömomentista aiheutuva kokonaismomentti

$A_c$  = Laatan poikkileikkauksen pinta-ala /m

Tulos:

Halkeilukapasiteetti ylitti sallitun rajan ( $1,65 > 1$ ), joten laatta ei kestä rasituksia halkeilematta. Keskeisesti raudoitettussa laatussa halkeilukapasiteetti ei saa ylittyä ylä- eikä alapinnassa. Halkeilukapasiteetin pienentämiseksi tulisi kasvattaa betonin lujuutta, kasvattaa laatan paksuutta tai pienentää sallittua pistekuormaa.

## 6. Laatan lävistyskapasiteetin laskenta

Lasketaan lävistyskapasiteetin  $V_c$  laskemiseksi tarvittavat arvot. Laatussa keskeinen rauditus =>  $d = h$  ja  $\rho = 0$ .

$$A_u = (200mm + 120mm) \times (200mm + 120mm) = 102400mm^2$$

$$\beta = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5e}{\sqrt{A_u}}} = \frac{0,40}{1 + \frac{1,5 \times 30mm}{\sqrt{102400mm^2}}} = 0,351$$

$e$  = Lävistysvoiman epäkeskisyyys laskettuna leikkautuvan alueen painopisteestä (tässä esimerkissä annettu satunnainen luku = 30mm)

$A_u$  = Pistekuorman pinta-alan reunasta etäisyydellä  $0,5d$  olevan leikkauksen rajoittama pinta-ala

$$u = (200mm + 120mm) \times 4 = 1280mm$$

u = Pistekuorman pinta-alan reunasta etäisyydellä 0,5d olevan leikkauksen rajoittama piiri

Lasketaan lävistyskapasiteetti  $V_c$ .

$$V_c = k\beta(1 + 50\rho)udf_{ctd}$$

$$V_c = (1,6 - 0,12) \times 0,351 \times (1 + 50 \times 0) \times 1280mm \times 120mm \times 1,33N/mm^2$$

$$V_c = 106124N = 106,1kN$$

$$k = 1,6 - d [m] \geq 1, \text{ kun } \rho_c \geq 2400kg/m^3$$

$$k = 1, \text{ kun } 1800kg/m^3 \leq \rho_c < 2400kg/m^3$$

$$k = 0,85, \text{ kun } \rho_c < 1800kg/m^3$$

$$V_c = 106,1kN > 30kN \Rightarrow \underline{\text{annettu pistekuorma ei aiheuta laattaan lävistystä}}$$

## Liite 2. Excel-mitoitustaulukko

Maanvaraisen teräsbetonilaatan mitoitus									
≤120mm laatat (keskeinen rauditus)									
(Eurokoodin 2:n mukaan)									
<b>Lähtötiedot</b>					<b>Alustäytön rakenne</b>				
					(Täytä kerroksien paksuudet ja kantavuudet. Huom! Myös eriste)				
Seuraamusluokka				CC2	Kerros 1	$h_1$ (m)	0,1	$E_1$ (MN/m <sup>2</sup> )	8,0
Laatan paksuus, $h$ (m)				0,12	Kerros 2	$h_2$ (m)	0,04	$E_2$ (MN/m <sup>2</sup> )	50,0
Laatan tehollinen korkeus, $d$ (m)				0,06	Kerros 3	$h_3$ (m)	0,3	$E_3$ (MN/m <sup>2</sup> )	100,0
Betonin lujuus				C30/37	Kerros 4	$h_4$ (m)	0	$E_4$ (MN/m <sup>2</sup> )	1,0
Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo, $f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )				17,0	Perusmaan alustaluku, $k_m$ (MN/m <sup>3</sup> )				
Betonin keskimääräinen vetolujuus, $f_{ctm}$ (N/mm <sup>2</sup> )				2,9					
Betonin vetolujuuden mitoitusarvo, $f_{ctd}$ (N/mm <sup>2</sup> )				1,33					
Betonin keskimääräinen puristuslujuus $f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )				38,0					
Teräksen myötölujuuden ominaisarvo, $f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )				500	<b>Kuormatyyppi</b>				
Teräksen myötölujuuden mitoitusarvo, $f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )				435	Pistekuorma				
Laatan omapaino (+pysyvä kuorma), $g_k$ (kN/m <sup>2</sup> )				3,0	Pistekuorma				
Hyötykuorma, $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )				5,0	Pyöräkuorma				
Piste-/pyöräkuorma, $P$ (kN)				30,0	Betonin tiheyden huomioonottava kerroin, $k$				
Pistekuorman kuormitus-alan sivumitta, $a$ (m) (jos pistekuorma)				0,2					
Pistekuorman kuormitus-alan sivumitta, $b$ (m) (jos pistekuorma)				0,2					
Pistekuorman epäkeskisyys kuormitus-alalla, $e$ (m)				0,03	$k = 1,6-d$ [m] $\geq 1$ , kun $\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$				
Rengaspaine, $q$ (kN/m <sup>2</sup> ) (jos pistekuorma $\Rightarrow 0$ )				600	$k = 1$ , kun $1800 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_c < 2400 \text{ kg/m}^3$				
Kitkakerroin (laatta/alusta), $\mu_f$				1,0	$k = 0,85$ , kun $\rho_c < 1800 \text{ kg/m}^3$				
Aikavaikutuskerroin ( $\leq 1,0$ ), $k_t$ =				1,0					
Liikuntasuomaväli, $L$ (m) =				4,0					
$L_x = 0,5L$ , kun vapaa kutistuminen molemmilta reunoilta				2,0	Pistekuorman kuormitus-ala, $A$ (m <sup>2</sup> )				
= $L$ , kun toisen reunan kutistuminen estetty					0,04 m <sup>2</sup>				
Raudituksen keskiliinjan etäisyys laatan keskiliinjasta (m)				0,00	Ohjeita:				
					- Täytä kaikki keltaiset kentät				
					- Täytä jokaisen täyttökerroksen tiedot, myös mahdollisen eristeen				
					- Jos kerrosta ei ole, käytä h:lle arvoa 0 ja E:lle arvoa 1				
					Seuraamusluokat:				
					- Yleensä CC2				
					- Eriytilanteissa CC3				
<b>Alustaluku</b>									
Alustaluku, $k$ =				34,7	MN/m <sup>3</sup>				
<b>Maksimimomentit</b>									
Piste-/pyöräkuorman säde, $r$ =				0,173	m				
Betonin kimmomoduuli, $E_{cm}$ =				32837	MN/m <sup>2</sup>				
Lattian jäykkyys, $D$ =				2,90	MNm				
Elastinen laatan jäykkyys, $I_k$ =				0,538	m				
Suhteellinen kuormitusjakautuma, $a_k$ =				0,321					
1. Pistekuorma laatan keskellä	$M_{1k,max}$ =			4,80		$M_{1k,min}$ =		-0,60	kNm/m
2. Pistekuorma sauman keskellä	$M_{2k,max}$ =			5,50		$M_{2k,min}$ =		-0,99	kNm/m
3. Pistekuorma laatan reunalla	$M_{3k,max}$ =			8,82		$M_{3k,min}$ =		-1,98	kNm/m
4. Pistekuorma saumojen nurkassa						$M_{4k,min}$ =		-2,35	kNm/m
5. Pistekuorma laatan nurkassa						$M_{5k,min}$ =		-5,66	kNm/m
Maksimimomentit	$M_{k,max}$ =			8,82		$M_{k,min}$ =		-5,66	kNm/m
<b>Kitkavoima</b>									
Keskeisen vetovoiman ominaisarvo, $N_k$ =				16,0	kN/m				
<b>Mitoitus murtorajatilassa (kutistumissaumoilla)</b>									
Kuormitusyhdistelmä 1.									
Momentin mitoitusarvo, $M_{ed}$ =				11,47	kNm/m				
Laskentamomentti, $M_{ed}$ =				11,47	kNm/m				
Suhteellinen momentti, $\mu$ =				0,187					
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta$ =				0,209					
Raudituksen määrä, $A_s$ =				491	mm <sup>2</sup> /m				

Kuormitusyhdistelmä 2.		
Momentin mitoitusarvo, $M_{ed}$ =	8,82	kNm/m
Keskeisen vetovoiman mitoitusarvo, $N_{ed}$ =	16,0	kN/m
Laskentamomentti, $M_{ed}$ =	8,82	kNm/m
Suhteellinen momentti, $\mu$ =	0,144	
Tehollisen puristuspinnan suhteellinen korkeus, $\beta$ =	0,156	
Raudituksen määrä, $A_s$ =	404	mm <sup>2</sup> /m
Vähimmäisraudoitus, $A_{s,min}$ =	90	mm <sup>2</sup> /m
Vaadittu raudituksen määrä, $A_s$ =	491	mm <sup>2</sup> /m
<b>Mitoitus käyttörajatilassa: halkeilutarkastelu</b>		
Laatan keskeinen vetovoima, $N_{lk}$ (reunat ja nurkat)	8,0	kN/m
Mitoittava momentti, $M_{ek}$ (liikiarvo)	11,33	kNm/m
Taivutusvastus, $W_l$	2400000	mm <sup>3</sup>
Halkeilumomentti, $M_{R,c}$	6,96	kNm
Halkeilukapasiteetti	1,65	Halkeilee, muuta lähtöarvoja!
<b>Lävistyskapasiteetti</b>		
Kuormitusalan reunasta +0,5h laskettu ala, $A_u$	0,1024	m <sup>2</sup>
Kuormitusalan reunasta +0,5h laskettu piiri, $u$	1,280	m
Kerroin, $\beta$	0,351	
Lävistyskapasiteetti, $V_c$	106,0	kN OK!

>120mm laatat (ylä- ja alapintaraudoitus)  
(Eurokoodin 2:n mukaan)

Lähtötiedot

Seuraamusluokka

CC2

Laatan paksuus, h (m)

0,15

Betonin suojaitepaksuus yläpinnassa, (mm)

25

Betonin suojaitepaksuus alapinnassa, (mm)

25

Laatan tehollinen korkeus (yläpinta - alateräs), d<sub>1</sub> (m)

0,121

Laatan tehollinen korkeus (alapinta - yläteräs), d<sub>2</sub> (m)

0,121

Betonin lujuus

C30/37

Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo, f<sub>cd</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

17,0

Betonin keskimääräinen vetolujuus, f<sub>ctm</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

2,9

Betonin vetolujuuden mitoitusarvo, f<sub>ctd</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

1,33

Betonin keskimääräinen puristuslujuus f<sub>cm</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

38,0

Teräksen myötölujuuden ominaisarvo, f<sub>yk</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

500

Teräksen myötölujuuden mitoitusarvo, f<sub>yed</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

435

Laatan omapaino (+pysyvä kuorma), g<sub>k</sub> (kN/m<sup>2</sup>)

3,0

Hyötykuorma, q<sub>k</sub> (kN/m<sup>2</sup>)

5,0

Piste-/pyöräkuorma, P (kN)

30,0

Pistekuorman kuormitus-alan sivumitta, a (m) (jos pistekuorma)

0,2

Pistekuorman kuormitus-alan sivumitta, b (m) (jos pistekuorma)

0,2

Pistekuorman epäkeskisyyss kuormitusälällä, e (m)

0,03

Rengaspaine, q (kN/m<sup>2</sup>) (jos pistekuorma => 0)

600

Kitkakerroin (laatta/alusta), μ<sub>f</sub>

1,0

Aikavaikutuskerroin (≤1,0), k<sub>t</sub> =

1,0

Liikuntasäamaääl, L (m) =

4,0

Lx = 0,5L, kun vapaa kutistuminen molemmilta reunoilta

2,0

= L, kun toisen reunan kutistuminen estetty

Alustäytön rakenne

(Täytä kerroksien paksuudet ja kantavuudet. Huom! Myös eriste)

Kerros 1

h<sub>1</sub> (m)

0,1

E<sub>1</sub> (MN/m<sup>2</sup>)

8,0

Kerros 2

h<sub>2</sub> (m)

0,04

E<sub>2</sub> (MN/m<sup>2</sup>)

50,0

Kerros 3

h<sub>3</sub> (m)

0,3

E<sub>3</sub> (MN/m<sup>2</sup>)

100,0

Kerros 4

h<sub>4</sub> (m)

0

E<sub>4</sub> (MN/m<sup>2</sup>)

1,0

Perusmaan alustaluku, k<sub>m</sub> (MN/m<sup>3</sup>)

80,0

Kuormatyyppi

Pistekuorma

Pyöräkuorma

Pistekuorma

Pyöräkuorma

Betonin tiheyden huomioönottava kerroin, k

1,48

k = 1,6-d [m] ≥ 1, kun ρ<sub>c</sub> ≥ 2400kg/m<sup>3</sup>

k = 1, kun 1800kg/m<sup>3</sup> ≤ ρ<sub>c</sub> < 2400kg/m<sup>3</sup>

k = 0,85, kun ρ<sub>c</sub> < 1800kg/m<sup>3</sup>

Sallittu halkeamaleveys, w<sub>k</sub>

0,3

mm

Pistekuorman kuormitus-ala, A (m<sup>2</sup>)

0,04

m<sup>2</sup>

Ohjeita:

- Täytä kaikki keltaiset kentät

- Täytä jokaisen täyttökerroksen tiedot, myös mahdollisen eristeen

- Jos kerrosta ei ole, käytä h:lle arvoa 0 ja E:lle arvoa 1

Seuraamusluokat:

- Yleensä

CC2

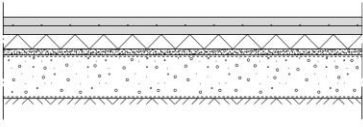
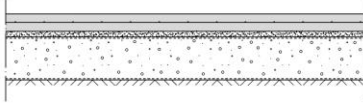
- Erityistilanteissa

CC3

<b>Alustaluku</b>									
Alustaluku, $k =$						34,7	MN/m <sup>3</sup>		
<b>Maksimimomentit</b>									
Piste-/pyöräkuorman säde, $r =$						0,188	m		
Betonin kimmomoduli, $E_{cm} =$						32837	MN/m <sup>2</sup>		
Lattian jäykkyys, $D =$						5,67	MNm		
Elastinen laatan jäykkyyssäde, $l_k =$						0,636	m		
Suhteellinen kuormitusjakautuma, $a_k =$						0,295			
1. Pistekuorma laatan keskellä	$M_{1k,max} =$					5,03	kNm/m	$M_{1k,min} =$	-0,60 kNm/m
2. Pistekuorma sauman keskellä	$M_{2k,max} =$					5,78	kNm/m	$M_{2k,min} =$	-0,99 kNm/m
3. Pistekuorma laatan reunalla	$M_{3k,max} =$					9,35	kNm/m	$M_{3k,min} =$	-1,98 kNm/m
4. Pistekuorma saumojen nurkassa								$M_{4k,min} =$	-2,41 kNm/m
5. Pistekuorma laatan nurkassa								$M_{5k,min} =$	-6,12 kNm/m
Maksimimomentit	$M_{k,max}$					9,35	kNm/m	$M_{k,min}$	-6,12 kNm/m
<b>Kitkavoima</b>									
Keskeisen vetovoiman ominaisarvo, $N_k =$						16,0	kN/m		
<b>Mitoitus murtorajatilassa (kutistumissaumoilla)</b>									
<b>Yläpinnan teräskset</b>									
Kuormitusyhdistelmä 1.									
Momentin mitoitusarvo, $M_{Ed} =$						7,96	kNm/m		
Laskentamomentti, $M_{Ed} =$						7,96	kNm/m		
Suhteellinen momentti, $\mu =$						0,032			
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$						0,033			
Raudituksen määrä, $A_{s,y\bar{l}ap.} =$						154	mm <sup>2</sup> /m		
Kuormitusyhdistelmä 2.									
Momentin mitoitusarvo, $M_{Ed} =$						6,12	kNm/m		
Keskeisen vetovoiman mitoitusarvo, $N_{Ed} =$						16,0	kN/m		
Laskentamomentti, $M_{Ed} =$						5,32	kNm/m		
Suhteellinen momentti, $\mu =$						0,021			
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$						0,022			
Raudituksen määrä, $A_{s,y\bar{l}ap.} =$						139	mm <sup>2</sup> /m		
Vähimmäisraudoitus, $A_{s,min} =$						182	mm <sup>2</sup> /m		
Vaadittu yläpinnan raudituksen määrä, $A_{s,y\bar{l}ap.} =$						182	mm <sup>2</sup> /m		
<b>Alapinnan teräskset</b>									
Kuormitusyhdistelmä 1.									
Momentin mitoitusarvo, $M_{Ed} =$						12,15	kNm/m		
Laskentamomentti, $M_{Ed} =$						12,15	kNm/m		
Suhteellinen momentti, $\mu =$						0,049			
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$						0,050			
Raudituksen määrä, $A_{s,alap.} =$						237	mm <sup>2</sup> /m		
Kuormitusyhdistelmä 2.									
Momentin mitoitusarvo, $M_{Ed} =$						9,35	kNm/m		
Keskeisen vetovoiman mitoitusarvo, $N_{Ed} =$						16,0	kN/m		
Laskentamomentti, $M_{Ed} =$						8,55	kNm/m		
Suhteellinen momentti, $\mu =$						0,034			
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$						0,035			
Raudituksen määrä, $A_{s,alap.} =$						202	mm <sup>2</sup> /m		
Vähimmäisraudoitus, $A_{s,min} =$						182	mm <sup>2</sup> /m		
Vaadittu alapinnan raudituksen määrä, $A_{s,alap.} =$						237	mm <sup>2</sup> /m		

<b>Rauditusverkkojen valinta</b>									
				Teräksen $\varnothing$	k-jako		$A_{s, val}$		
Valittu yläpinnan rauditusmäärä				8	200	=>	251,3	mm <sup>2</sup> /m	
Valittu alapinnan rauditusmäärä				8	200	=>	251,3	mm <sup>2</sup> /m	
<b>Mitoitus käyttörajatilassa</b>									
<b>Yläpinnan halkeilutarkastelu</b>									
Laatan keskeinen vetovoima, $N_{Ek}$ (reunat ja nurkat)				8,0	kN/m				
Mitoittava momentti, $M_{Ek}$ (likiarvo)				12,24	kNm/m				
Taivutusvastus, $W_I$				3750000	mm <sup>3</sup>				
Halkeilumomentti, $M_{R, cr}$				10,875	kNm				
Halkeilukapasiteetti				1,14					
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$				0,033					
Sisäinen momenttivarsi, $z =$				119	mm				
Vetorausitoituksessa vaikuttava jännitys, $\sigma_s =$				409,3	N/mm <sup>2</sup>				
Betoniteräsiä ympäröivän betonialueen tehollinen ala, $A_{c, eff} =$				50,0	mm <sup>2</sup>				
Tehollinen rauditusuhde, $\rho_{p, eff} =$				5,0					
Kimmomoduulien suhde, $\alpha_e =$				6,1					
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$				0,0020					
Suurin halkeamaväli, $S_{r, max} =$				85,3					
Halkeaman ominaisleveys, $w_k =$				0,17	mm	OK!			
<b>Alapinnan halkeilutarkastelu (<math>w_k \leq 0,3</math> mm)</b>									
Laatan keskeinen vetovoima, $N_{Ek}$ (reunat ja nurkat)				8,0	kN/m				
Mitoittava momentti, $M_{Ek}$ (likiarvo)				9,35	kNm/m				
Taivutusvastus, $W_I$				3750000	mm <sup>3</sup>				
Halkeilumomentti, $M_{R, cr}$				10,875	kNm				
Halkeilukapasiteetti				0,88					
Tehollisen puristuspuunnan suhteellinen korkeus, $\beta =$				0,050					
Sisäinen momenttivarsi, $z =$				118	mm				
Vetorausitoituksessa vaikuttava jännitys, $\sigma_s =$				315,3	N/mm <sup>2</sup>				
Betoniteräsiä ympäröivän betonialueen tehollinen ala, $A_{c, eff} =$				50,0	mm <sup>2</sup>				
Tehollinen rauditusuhde, $\rho_{p, eff} =$				5,0					
Kimmomoduulien suhde, $\alpha_e =$				6,1					
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$				0,0015					
Suurin halkeamaväli, $S_{r, max} =$				85,3					
Halkeaman ominaisleveys, $w_k =$				0,00	mm	OK!			
<b>Lävistyskapasiteetti</b>									
Kuormitusalan reunasta +0,5d laskettu ala, $A_u$				0,1030	m <sup>2</sup>				
Kuormitusalan reunasta +0,5d laskettu piiri, $u$				1,284	m				
Kerroin, $\beta$				0,351					
Lävistyskapasiteetti, $V_c$				150,2	kN	OK!			

### Liite 3. Pistekuormataulukko

<b>Piste-/pyöräkuormataulukko</b>			
<b>Eristeellä</b>			
Seuraamusluokka	CC2	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 80-150mm teräsbetonilaatta</li> <li>- 100mm XPS-eriste (EPS100 lattiatäyte E = 8 MN/m²)</li> <li>- 40mm tasaushiekka, tiivistetty (E = 50 MN/m²)</li> <li>- kuitukangas</li> <li>- 300mm salaojatorras, tiivistetty (E = 100 MN/m²)</li> <li>- kuitukangas</li> <li>- perusmaa, hiekka (häiriintymätön maapohja tai ≥1000 mm tiivistetty täyttö) (k = 80 MN/m³)</li> </ul>	
Betoni	C25/30		
Betoniteräs	B500B		
Hyötykuorma	5,0 kN/m²		
Pistek. kuormitusala	200mm x 200mm		
Rengaspaine	600 kN/m²		
Liikuntasaumaväli	5,0 m		
Sallittu halk.leveys	0,3 mm		
		Suurin sallittu piste- /pyöräkuorma, kN	Suurin sallittu piste- /pyöräkuorma, kN
Laatan paksuus, mm	Rauditusverkko	laatan nurkassa	laatan reunalla
80	T8 k200	8,8 / 5,5	11,9 / 9,5
80	T8 k150	8,8 / 5,5	15,3 / 13,0
80	T10 k200	8,8 / 5,5	17,5 / 15,5
80	T10 k150	8,8 / 5,5	20,1 / 20,1
100	T8 k200	12,1 / 9,1	14,1 / 12,0
100	T8 k150	12,1 / 9,1	18,2 / 16,7
100	T10 k200	12,1 / 9,1	20,9 / 20,0
100	T10 k150	12,1 / 9,1	26,6 / 27,6
120	T8 k200	16,1 / 13,9	16,2 / 14,6
120	T8 k150	16,1 / 13,9	21,0 / 20,2
120	T10 k200	16,1 / 13,9	24,3 / 24,3
120	T10 k150	16,1 / 13,9	31,1 / 33,9
150	T8 k200	24,2 / 24,6	31,9 / 34,6
<b>Ilman eristettä</b>			
Seuraamusluokka	CC2	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 80-150mm teräsbetonilaatta</li> <li>- 40mm tasaushiekka, tiivistetty (E = 50 MN/m²)</li> <li>- kuitukangas</li> <li>- 300mm salaojatorras, tiivistetty (E = 100 MN/m²)</li> <li>- kuitukangas</li> <li>- perusmaa, hiekka (häiriintymätön maapohja tai ≥1000 mm tiivistetty täyttö) (k = 80 MN/m³)</li> </ul>	
Betoni	C25/30		
Betoniteräs	B500B		
Hyötykuorma	5,0 kN/m²		
Pistek. kuormitusala	200mm x 200mm		
Rengaspaine	600 kN/m²		
Liikuntasaumaväli	5,0 m		
Sallittu halk.leveys	0,3 mm		
		Suurin sallittu piste- /pyöräkuorma, kN	Suurin sallittu piste- /pyöräkuorma, kN
Laatan paksuus, mm	Rauditusverkko	laatan nurkassa	laatan reunalla
80	T8 k200	11,0 / 6,3	13,4 / 10,7
80	T8 k150	11,0 / 6,3	17,2 / 15,0
80	T10 k200	11,0 / 6,3	19,7 / 18,1
80	T10 k150	11,0 / 6,3	20,1 / 20,1
100	T8 k200	14,6 / 10,7	15,7 / 13,6
100	T8 k150	14,6 / 10,7	20,3 / 19,1
100	T10 k200	14,6 / 10,7	23,4 / 23,1
100	T10 k150	14,6 / 10,7	29,7 / 31,6
120	T8 k200	18,0 / 16,5	18,0 / 16,5
120	T8 k150	18,0 / 16,5	23,4 / 23,1
120	T10 k200	18,0 / 16,5	27,0 / 28,1
120	T10 k150	18,0 / 16,5	34,6 / 39,8
150	T8 k200	28,1 / 30,8	35,3 / 40,0